



PROYECTO FIN DE CARRERA PLAN 2000

E.T.S.I.S. TELECOMUNICACIÓN

TÍTULO: Diseño y simulación térmica de HB-LEDs con Autodesk y PCB para ensayos

AUTOR: Estefanía Reca Corpas

TUTOR: Neftalí Núñez Mendoza

DEPARTAMENTO: ELECTRÓNICA FÍSICA

Miembros del Tribunal Calificador:

PRESIDENTE: Gregorio Rubio Cifuentes

VOCAL: Neftalí Núñez Mendoza

VOCAL SECRETARIO: Manuel Vázquez López

Fecha de lectura: 7 de Abril de 2014

Resumen

Este PFC es un trabajo muy práctico, los objetivos fueron impuestos por el tutor, como parte del desarrollo de herramientas (software y hardware) que serán utilizados posteriormente a nivel de docencia e investigación.

El PFC tiene dos áreas de trabajo, la principal y primera que se expone es la utilización de una herramienta de simulación térmica para caracterizar dispositivos semiconductores con disipador, la segunda es la expansión de una tarjeta de adquisición de datos con unas PCBs diseñadas, que no estaban disponibles comercialmente.

Se ha probado y configurado “Autodesk 2013 Inventor Fusion” y “Autodesk 2013 Simulation and Multiphysics” para simulación térmica de dispositivos de alta potencia. Estas aplicaciones son respectivamente de diseño mecánico y simulación térmica, y la UPM dispone actualmente de licencia. En esta parte del proyecto se realizará un manual de utilización, para que se continúe con esta línea de trabajo en otros PFC. Además se han diseñado mecánicamente y simulado térmicamente diodos LED de alta potencia luminosa (High Brightness Lights Emitting Diodes, HB-LEDs), tanto blancos como del ultravioleta cercano (UVA). Las simulaciones térmicas son de varios tipos de LEDs que actualmente se están empleando y caracterizando térmicamente en Proyectos Fin de Carrera y una Tesis doctoral.

En la segunda parte del PFC se diseñan y realizan unas placas de circuito impreso (PCB) cuya función es formar parte de sistemas de instrumentación de adquisición automática de datos basados en LabVIEW. Con esta instrumentación se pueden realizar ensayos de fiabilidad y de otro tipo a dispositivos y sistemas electrónicos.

Abstract

The PFC is a very practical work, the objectives were set by the tutor, as part of the development of tools (software and hardware) that will be used later at level of teaching and research.

The PFC has two parts, the first one explains the use of a software tool about thermal simulation to characterize devices semiconductors with heatsink, and second one is the expansion of card data acquisition with a PCBs designed, which were not available commercially.

It has been tested and configured "Autodesk 2013 Inventor Fusion" and "Autodesk 2013 Simulation Multiphysics" for thermal simulation of high power devices. These applications are respectively of mechanical design and thermal simulation, and the UPM has at present license. In this part of the project a manual of use will be realized, so that it is continued by this line of work in other PFC. Also they have been designed mechanically and simulated thermally LEDs light (High Brightness Lights Emitting Diodes , HB- LEDs) both white and ultraviolet. Thermal simulations are several types of LEDs are now being used in thermally characterizing in Thesis and PhD.

In the second part of the PFC there are designed and realized circuit board (PCB) whose function is to be a part of instrumentation systems of automatic acquisition based on LabVIEW data. With this instrumentation can perform reliability testing and other electronic devices and systems.

Capítulo 1: Introducción

1. Introducción

En este apartado se explica el origen, los objetivos, y la distribución de la memoria de este PFC.

Este proyecto empezó siendo un proyecto hardware de diseño de dos tarjetas de circuito impreso para complementar sistemas de adquisición de datos. De dichas tarjetas se ha completado el desarrollo y prueba de la primera de ellas. Debido a que cambios laborales del autor del PFC hacían imposible realizar el diseño y prueba de funcionalidad de la segunda tarjeta, se complementó este proyecto con el análisis térmico de LEDs de alta potencia mediante el software de simulación de Autodesk. Dicho software, del que la Universidad tiene licencia, permitía trabajar con portátil en casa, siendo de esta forma compatible con las nuevas condiciones laborales.

Por tanto el proyecto tiene dos actividades que no están relacionadas entre sí, aunque si forman parte de las actividades de evaluación de fiabilidad del Grupo de Investigación de la UPM Semiconductores III-V.

Al ser dos actividades independientes, se tratarán así en este documento:

- La actividad de simulación térmica software, que es la que aporta la mayor parte de contenido al proyecto, se presentará como la primera parte del proyecto. En la que se incluyen bases teóricas, herramientas de simulación, resultados y conclusiones.
- La actividad hardware, diseño de tarjeta de PCB para expansión de conexiones de un sistema de adquisición de datos se presentará como segunda parte del proyecto. En la que se incluyen los esquemas, diseños, diagramas de conexiones, resultados y conclusiones.

Por tanto, en esta introducción así como en las conclusiones finales, se dedicará en cada apartado una parte para la primera actividad del PFC y otra parte para la segunda actividad.

Para llevar a cabo nuestro objetivo se ha dividido el PFC en cinco objetivos principales. A continuación explicaremos el propósito de cada uno de ellos.

- Capítulo 2: “Análisis térmico de LEDs de alta potencia”. En este capítulo se realiza un análisis teórico del uso de los diodos LEDs en la actualidad, tanto en el ámbito doméstico como en la iluminación pública. Además de ello, se realiza una pequeña definición de los materiales con los tipos y propiedades de los mismos.

- Capítulo 3: “Manual del software Autodesk para aplicaciones en dispositivos electrónicos”. En este capítulo se explica de forma detallada los diferentes opciones y sentencias de diseño que facilita el programa software utilizado en este PFC.
- Capítulo 4: “Diseño mecánico de LEDs en Autodesk”. Se explica el diseño de cada una de las capas de los diferentes diodos LEDs diseñados y simulados a lo largo del PFC.
- Capítulo 5: “Configuración y resultados de simulaciones térmicas del diodo blanco de 50W”. Utilizando otro de los programas software que nos proporciona Autodesk, “Autodesk 2013 Simulation and Multiphysics”, se explican los pasos seguir para poder simular el diodo blanco de 50W.
- Capítulo 6: “Configuración y resultados de simulaciones térmicas del diodo blanco de 10W”. Al igual que el capítulo anterior, se realiza la configuración y, posteriormente, la simulación del diodo blanco de 10W.
- Capítulo 7: “Configuración y resultados de simulaciones térmicas del diodo ultravioleta de 3W”. En el caso del diodo de ultravioleta de 3W, se ha realizado las simulaciones térmicas teniendo en cuenta cuatro escenarios diferentes. Se ha realizado una comparativa entre dos diodos de 3W con características diferentes, y además, dos disipadores distintos.
- Capítulo 8: “Tarjeta PCB-EXPANSION 3722 KTHL”. En este capítulo se realiza una explicación del diseño hardware de esta tarjeta. A parte de ello, se ha montado y probado dicha tarjeta y se ha incluido imágenes de la misma.

Además de los capítulos mencionados, se ha creado tres capítulos más que hacen referencia al presupuesto del proyecto, las conclusiones obtenidas de los resultados del mismo y por último, de la documentación consultada que ha servido de guía para poder desarrollar la parte teórica de este PFC.

- Capítulo 9: “Presupuesto”. Se hace un análisis de los diferentes costes que conlleva la realización de este proyecto.
- Capítulo 10: “Conclusiones”.
- Capítulo 11: “Bibliografía y referencias”.

Capítulo 2: Análisis térmico de LEDs de alta potencia

2. Análisis térmico de LEDs de alta potencia

En este capítulo se va a desarrollar la trascendencia que la nueva tecnología LED de alta potencia está tomando en el área de la iluminación y señalización, por una parte porque son dispositivos de mayor fiabilidad que los antiguos sistemas de iluminación (lámparas incandescentes, alógenas, fluorescentes, etc...) y por otra parte por el ahorro de energía que suponen, al ser muchos más eficientes que los antiguos elementos.

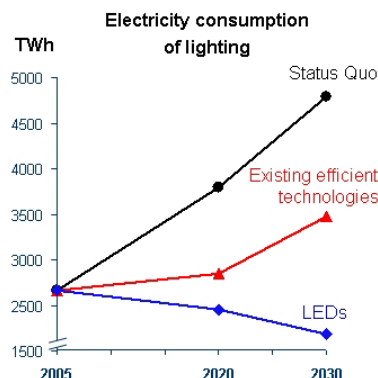
2.1. Importancia de la tecnología LED de alta potencia

Existen numerosas ventajas del uso de diodos LED. Es significativa la importancia que se le está dando a este tipo de tecnología en el ámbito doméstico, pero también en el industrial (automóviles), y en la iluminación pública.

Las bombillas LED, están tomando una gran importancia en el uso de las mismas para el uso domestico y general ya que destacan por eficacia luminosa y reducido consumo. Actualmente son el tipo de iluminación con mayor periodo de vida útil.

En el uso doméstico, las bombillas LED están siendo las sustitutas de las bombillas convencionales de hasta 60 W. La eficacia luminosa en este caso es muy significativa puesto que a diferencia de la bombilla convencional de 60 W, la bombilla LED gasta un 80% menos de electricidad, teniendo un consumo energético de 10W.

La siguiente gráfica muestra la diferencia de consumo eléctrico de luz a lo largo de los años entre diferentes tecnologías.



Referencia: ISON 21*

Actualmente, el uso de las bombillas LEDs es muy frecuente. Debido a las ventajas mencionadas anteriormente, se utiliza diodos en semáforos y algunas farolas de la ciudad.

Uno de los beneficios de estas bombillas en cuanto al medio ambiente y para la salud es que este tipo de bombillas no contienen en su interior elementos nocivos como el mercurio ni gases. Mientras que en otro tipo de bombillas si existen cantidades de los mismos.

Según un estudio realizado por OSRAM, cumpliendo la normativa ISO 14040/44, y validados por tres profesores universitarios independientes de Alemania y Dinamarca (ISON 21*):

25 bombillas de 40 w cada una tienen una vida (en total) de 25.000 horas. A lo largo de su vida útil consumirán 1.000 kWh de electricidad. Con los precios actuales, podemos comprar las 25 bombillas por unos 25€ y pagar 210 € en concepto de electricidad. Además tenemos una emisión de 500 kg de CO₂ a la atmósfera.

Se necesita una única bombilla LED (OSRAM Parathom) para conseguir la misma duración (25.000 horas). Pero como sólo consume 8 W, significa que a lo largo de su vida útil sólo gastará 200 kWh de electricidad. Las emisiones a la atmósfera serán de 100 kg de CO₂, todo por un precio de 40 €.

A continuación se muestra una tabla comparativa entre el uso de bombillas LED y el uso de bombillas de bajo consumo:

	BAJO CONSUMO	LED
Vida útil de funcionamiento	Entre 1000 y 2000 horas, Aunque está preparado para funcionar de entre 7000 y 10000 horas.	50000 horas, el equivalente a 12-14 años
Vida útil	Alrededor de 1500 horas	45000 horas
Eficiencia energética lumínica	35% – 45%	85% – 90%
Gastos de reciclaje	Contiene gas y metales pesados como el plomo y mercurio que son altamente tóxicos y muy perjudiciales para el medioambiente.	No tiene
Utilización energías renovables	Su bajo consumo permite disponer de acumuladores que mantienen encendido las luminarias durante varias horas.	Su eficiente consumo energético permite disponer de acumuladores que mantienen encendido las luminarias durante varias horas, y varios días consecutivos.
Resistencia a impactos y vibraciones	No, reduce el ciclo de vida de la luminaria	Si, ya que no dispone de partes móviles, es de construcción modular
Rendimiento a bajas temperaturas	Aumenta el tiempo de encendido y baja la luminosidad entorno un 5 – 10%	La luminosidad no se ve afectada incluso a bajas temperaturas y puede incluso aumentar un poco la luminosidad LED.
Tiempo de encendido	Se encienden pasados varios segundos, consiguiendo la máxima luminosidad pasados algunos minutos	Instantáneo
Tipo de luz producida	Luz blanca con parpadeos, provoca fatiga ocular.	Luz clara (tono blanco): Reduce la fatiga visual. Disminuye el tiempo de reacción. Reproducción real de los colores

Referencia: onLEDs*

2.2. Relación entre LEDs, análisis térmico, temperatura y vida

Una de las ventajas a tener en cuenta en la tecnología de LED como fuente de luz convencional o para otras aplicaciones, es la baja emisión de calor de las mismas comparado con los sistemas convencionales; la diferencia existente entre la emisión de temperatura de bombillas normales frente a las bombillas LEDs es significativa; las bombillas LEDs solo genera un 50-70 por ciento de calor puesto que el 50-30 por ciento restante es transformado en luz, por lo que la temperatura de alrededor, a priori, se ve menos afectada por el uso de este tipo de bombillas. La eficiencia de los LEDs depende mucho de su color de emisión, es decir de su tecnología de fabricación.

Cuando se sustituye una bombilla de 60W se sustituye por un array de LEDs de 10W en un único microencapsulado. Se produce la paradoja de que la potencia se divide por 6, lo que podría hacer pensar que el LED está frío, pero el volumen de la luminaria LED se reduce en 6 o más veces, de modo que tenemos un pequeño punto de emisión de luz que equivale a 60W de luz convencional, pero que consume 10W en un área muy pequeña, que puede ser de 4 mm x 4 mm (16 mm²).

Esta es la principal razón de que el análisis térmico de los LEDs y luminarias de alta potencia sea crítico para evaluar que no se encuentren en estrés térmico, y que por tanto su duración sea la esperada por el fabricante.

2.3. Transferencia térmica en LEDs

La transferencia térmica o transferencia de calor, consiste en la propagación de calor a lo largo de un cuerpo hasta que el cuerpo alcance un equilibrio térmico.

Cuando un cuerpo es sometido a una variación de temperatura con respecto a su entorno u a otro cuerpo, se produce la transferencia de la energía térmica desde la zona con temperatura más cálida a las zonas de temperatura menos cálida, proporcionando de este modo, un equilibrio de temperatura a lo largo del cuerpo.

Al igual que todos los dispositivos electrónicos, los LEDs dependen de la temperatura. El rendimiento o eficiencia en emisión de luz del LED depende de la temperatura a la que esté sometido el dispositivo, a mayor temperatura menor eficiencia. Además como todos los dispositivos semiconductores a mayor temperatura de trabajo menor fiabilidad, es decir menor periodo de vida en condiciones funcionales adecuadas.

En un diseño basado en luminarias LED, en temperaturas ambientales elevadas, puede producirse un sobrecalentamiento en el conjunto de LEDs provocando que el ciclo de vida del dispositivo se vea reducido o en su caso, puede llegar a efectuarse un fallo en el funcionamiento el diseño. Por ello, al realizar el diseño, uno de los factores más importantes es la realización de un diseño de refrigeración adecuado para impedir un sobrecalentamiento en el dispositivo. De este modo, se consigue un ciclo de vida útil mayor, así como una elevada eficacia de la luminaria.

Por ello, la transferencia térmica es una de las características más importantes a tener en cuenta en el diseño de las luminarias de LED.

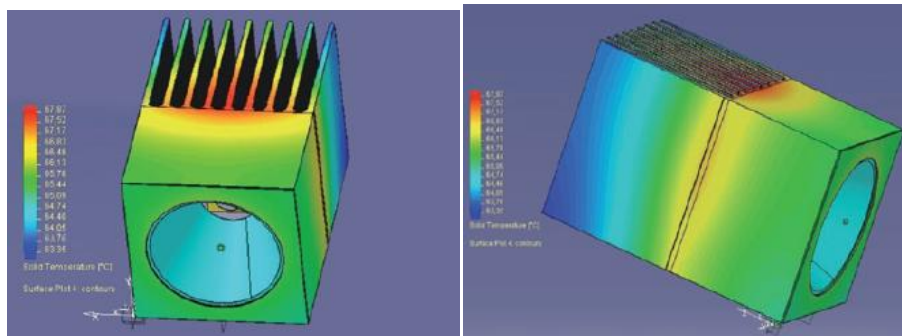


Figura 2.3.1 Resultados simulación térmica.

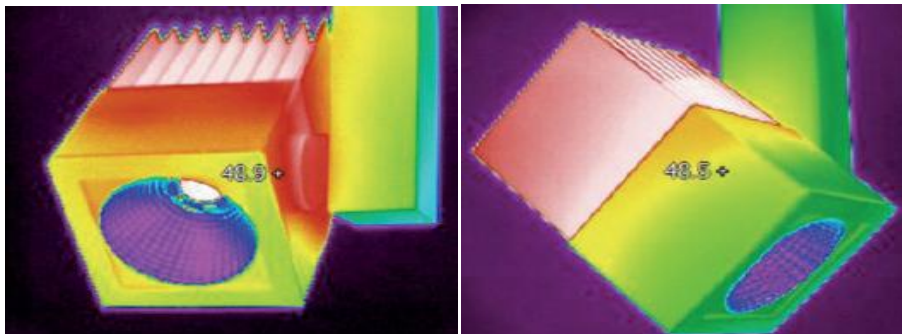
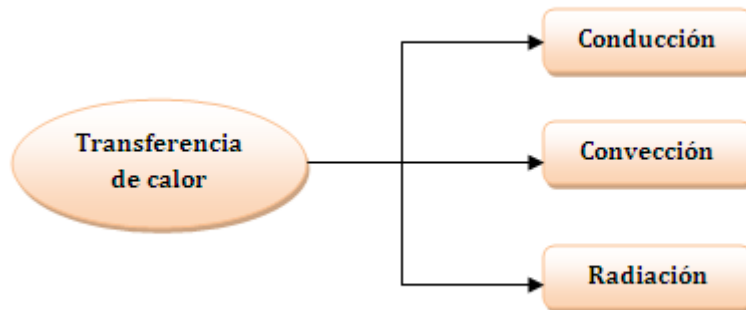


Figura 2.3.2 Resultados de la misma luminaria sometida a cámara climática

2.4. Mecanismos de transferencia térmica

La transferencia de calor se puede producir principalmente por tres mecanismos físicos. Éstos son:



A continuación se muestra una figura en la que se puede ver las diferencias entre estos tres métodos:



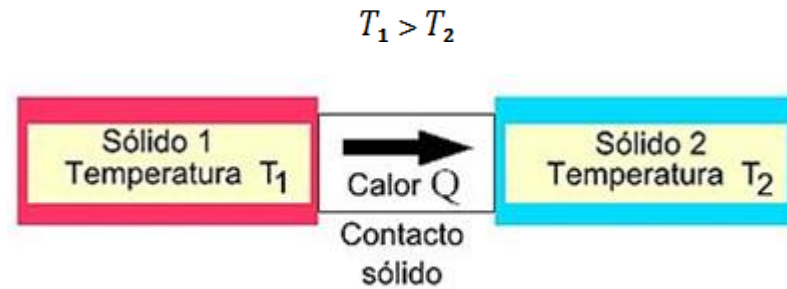
*Referencia: Métodos de transferencia de calor**

2.4.1. Conducción

La conducción consiste en la transferencia de energía cinética por medio de la excitación molecular en el interior del material. Este mecanismo de transferencia térmica se produce en un cuerpo sólido, sin ningún tipo de contacto con cualquier cuerpo externo a éste.

Para que este tipo de efecto físico se produzca, debe haber diferencias de temperatura entre dos puntos del mismo medio conductor. Cuando un cuerpo es sometido a calor en uno de sus extremos, se produce una colisión entre las partículas, gracias a la diferencia de velocidad entre las partículas, se transfiere energía del extremo de mayor temperatura hacia el extremo más frío. Las partículas de mayor velocidad colisionan con las de menor velocidad, produciendo de esta forma, un equilibrio térmico en el cuerpo.

Uno de los ejemplos más significativos es la transferencia de calor en materiales metálicos como el cobre. Mientras que, existen otro tipo de objetos como el aire, que son malos conductores de calor. Éstos reciben el nombre de aislantes.



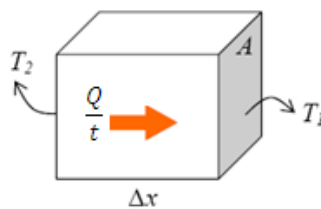
Referencia: WikiCalor*

Suponiendo que un cuerpo de espesor Δx y cuya área transversal es A . Teniendo diferentes temperaturas entre sus caras opuestas ($T_1 < T_2$). La rapidez de transferencia de calor, $\left(\frac{Q}{t}\right) (W)$, está dada por ley de la conducción de calor de Fourier:

$$\frac{Q}{t} = \frac{kA(T_2 - T_1)}{x}$$

Referencia: Cap14*

Donde $k \left(\frac{W}{mK}\right)$ es la conductividad térmica del material.



Referencia: Cap14*

A continuación se muestran algunos ejemplos de valores de conductividades térmicas.

Metales, a 25°C		Gases, a 20°C		Otros materiales	
Sustancia	k (W/mK)	Sustancia	k (W/mK)	Sustancia	k (W/mK)
Aluminio	238	Aire	0.0234	Asbesto	0.08
Cobre	397	Helio	0.138	Concreto	0.8
Oro	314	Hidrógeno	0.172	Diamante	2300

Metales, a 25°C		Gases, a 20°C		Otros materiales	
Hierro	79.5	Nitrógeno	0.0234	Vidrio	0.84
Plomo	34.7	Oxígeno	0.0238	Hule	0.2
Sustancia	k (W/mK)	Sustancia	k (W/mK)	Sustancia	k (W/mK)
Plata	427			Madera	0.08 a 0.16
				Corcho	0.42
				Tejido humano	0.2
				Agua	0.56
				Hielo	2

Referencia: Cap14*

2.4.2. Convección

La convección se produce por el movimiento de fluidos, tales como el agua o el aire. Al contrario que la conducción, la convección se produce únicamente en materiales fluidos debido a que sus moléculas y los átomos pueden moverse libremente en el medio.

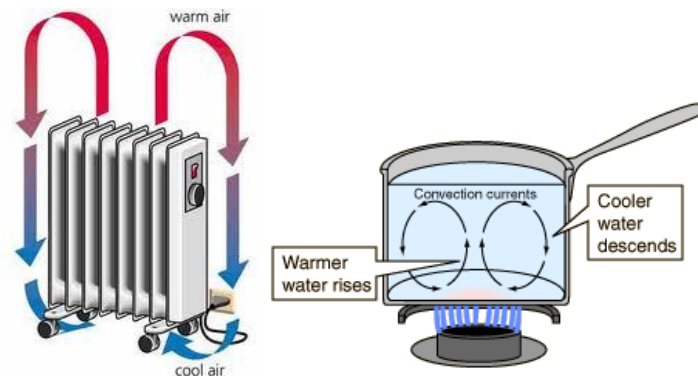
Existen dos razones por las que este fenómeno puede ser producido; de forma natural, debido a la diferencia de densidad de la materia, o de forma forzada, en la que influye una fuerza externa, ya sea el aire producido por un ventilador o el agua en movimiento.

El fenómeno de la convección se produce cuando se calienta las moléculas del material, de este modo las partículas menos densas (más cálidas) se alejan de la fuente de calor transportando de este modo la energía hacia las partículas más densas (más frías). En el caso del aire, cuando se calienta, se expande y por tanto la densidad se reduce por lo que se eleva. Al igual ocurre con el agua, la parte con una temperatura más elevada se hace menos densa y se eleva transportando de esta forma la energía a través de las corrientes de convección.

Como podemos observar en la siguiente figura, en la primera ilustración nos muestra el comportamiento del aire provocado por la fuente de calor, radiador. El aire cálido asciende, alejándose de la fuente de calor, a medida de que la distancia entre ambos es mayor, la temperatura es menor provocando que la densidad aumente y por tanto el aire empieza a descender volviendo a la fuente de calor y volviendo a producir el mismo efecto. Como resultado de ello se produce un movimiento elíptico. De este modo, se produce la transferencia térmica al medio externo.

En la segunda imagen, observamos el efecto producido en el agua. El agua se encuentra en un recipiente cerrado, el cual está recibiendo calor a través de una llama de fuego. La zona más interna del recipiente, se encuentra a una temperatura mayor por lo que la

densidad es menos y se expande. El agua más fría, localizada en los laterales del recipiente, es más densa y desciende. Como resultado de ello se produce un movimiento circular.



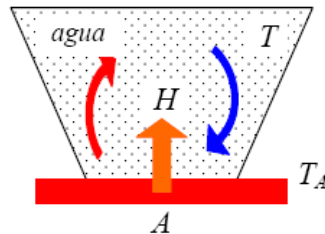
Referencia: Hyperphysics*

La convección cumple con la ley de enfriamiento de Newton (H). Suponiendo que disponemos de una fuente de calor A que entrega una temperatura T_A al fluido adyacente, cuya temperatura es T. El cálculo de la convección es:

$$H = hA(T_A - T)$$

Referencia: Cap14*

Donde h es el coeficiente de convección, en $W/(m^2 K)$



Referencia: Cap14*

De la ley de enfriamiento de Newton se obtiene que el flujo de calor será positivo, cuando el calor es transferido desde el área A al fluido (línea roja) ya que $T_A > T$, mientras que en caso contrario (línea azul), el flujo de calor es negativo siendo $T_A < T$.

A continuación se muestran algunos ejemplos de coeficiente de convección.

Proceso	h (W/m ² K)
Convección libre	
Gases	2 - 25
Líquidos	50 - 1000

Convección forzada	
Gases	25 - 250
Líquidos	50 - 20000

*Referencia: Cap14**

2.4.3. Radiación

La radiación térmica consiste en la transferencia de calor por medio de ondas electromagnéticas, que transporta la energía desde el foco emisor hacia el exterior.

La energía se produce por las variaciones de los átomos o moléculas que son transportados por ondas electromagnéticas. Este tipo de radiación recibe el nombre de radiación electromagnética.

Las características de transferencia térmica vienen dadas por el tipo de superficie del cuerpo. Recibe el nombre de cuerpo negro aquel cuya superficie es capaz de absorber todas las ondas electromagnéticas ya que la superficie del cuerpo se encuentra en un equilibrio termodinámico. Los colores más luminosos, tales como el blanco, son aquellos que su capacidad de absorción es muy reducida, en estos casos, este tipo de materiales reducen la transferencia de calor por la radiación térmica.



*Referencia: Radiación**

Uno de los ejemplos más significativos de este tipo de transferencia térmica es el Sol. Al igual que el sol, un cuerpo muy caliente emitirá un gran elevado número de ondas electromagnéticas. La cantidad de energía radiada cumple la Ley de Stefan-Boltzmann:

$$\frac{P}{A} = \sigma T^4 \quad (J/m^2s)$$

Donde:

- P es la potencia radiada.
- α es un coeficiente que depende de la naturaleza del cuerpo; por ejemplo, $\alpha = 1$ para un cuerpo negro perfecto
- A es el área de la superficie que radia.
- σ es la constante de Stefan-Boltzmann, $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/(m}^2\text{K}^4\text{)}$
- T es la temperatura absoluta.

2.5. Conclusiones de este capítulo

Como se ha explicado los LEDs tienen muchas ventajas sobre los métodos de iluminación y señalización convencionales, por lo que su uso está creciendo exponencialmente.

El principal problema del LED de alta potencia, es que se trata de una fuente de luz muy pequeña y de alta energía, por lo que las condiciones de disipación de calor del dispositivo son complejas, y por tanto deben ser muy bien analizadas. Un exceso de temperatura implica menor eficiencia en iluminación y mayor calor, además el nivel de temperatura está relacionado con la duración de los dispositivos electrónicos. Una regla general que se sigue a grosso modo en los sistemas electrónicos es que un incremento en la temperatura de funcionamiento de 10°C implica una reducción de la vida a la mitad. Por esta razón la gestión de la disipación de calor y temperatura de estos dispositivos es crítica.

De los tres métodos anteriormente descritos, los más importantes son la conducción al disipador, y la convección ya sea natural o forzada del disipador al ambiente. El proceso de transferencia de calor por radiación es menos significativo ya que la temperatura absoluta de los LEDs es baja comparada con la de sistemas que realmente emiten su calor por radiación, como el sol a 7000 Kelvin.

En los datasheet de los LEDs o luminarias de alta potencia, se da una recomendación general sobre la temperatura máxima que soporta el LED en condiciones máximas de funcionamiento, y en el mejor de los casos indican si es necesario un disipador adicional. Pero esta información no es suficiente para evaluar en qué condiciones térmicas se encontrará el dispositivo, especialmente si además existen restricciones de espacio o volumen para disipación.

Uno de los objetivos del PFC es averiguar mediante simulaciones a qué temperatura se encontrará el chip del LED o luminaria LED en función de las condiciones del disipador y ambientales. Para ello es necesario hacer medidas térmicas reales con diferentes condiciones de disipación

y disipadores, y contrastar y adaptar los parámetros de la simulación para que se correspondan con la realidad, a partir de ahí, ya no serían necesarias las medidas reales térmicas y por tanto se podría obtener la temperatura en la unión del chip del LED en casi cualesquiera condiciones de potencia y disipación.

Capítulo 3: Manual del software Autodesk para aplicaciones en dispositivos electrónicos

3. Manual y ejemplo de realización de un diseño y simulación en Autodesk

El primer problema de un análisis térmico es elegir el software que realice el análisis de elementos finitos para resolver las ecuaciones térmicas (Finite Element Analysis). En PFCs anteriores en el departamento se había empleado la herramienta LISA, un software desarrollado por un ingeniero canadiense cuyo precio de licencia anual era de unos 100 euros, pero debido a sus limitaciones para diseñar cuerpos complejos, no era adecuado para este tipo de dispositivos de mucha complejidad mecánica.

Se estuvieron analizando programas gratuitos y comerciales, los programas gratuitos son difíciles de usar y suele ser necesario plataformas linux, mientras que los programas comerciales suelen ser compatibles con windows y de mayor facilidad de uso. Dentro de este área se pregunto por ANSYS pero era caso de comprar y requería de un coste anual de mantenimiento elevado.

Finalmente por falta de opciones la simulaciones térmicas se van a realizar con un software de la marca Autodesk (versión mejorada de Autocad), se ha elegido dicho software porque es un programa profesional, y es el único para el que la UPM tiene licencia gratuita de desarrollo para aplicaciones docentes.

El programa se divide en “Autodesk 2013 Inventor Fusion” para el desarrollo mecánico de las muestras, en este caso los LEDs más el disipador, y de “Autodesk 2013 Simulation and Multiphysics” para la simulación térmica o cualquier otro análisis de elementos finitos.

Se va a explicar el uso de la herramienta Inventor y posteriormente de la herramienta “Autodesk 2013 Simulation and Multiphysics”. En el capítulo 5 se mostrarán las simulaciones realizadas en cada uno de los diodos y posteriormente se comparará con los resultados obtenidos en los ensayos del laboratorio.

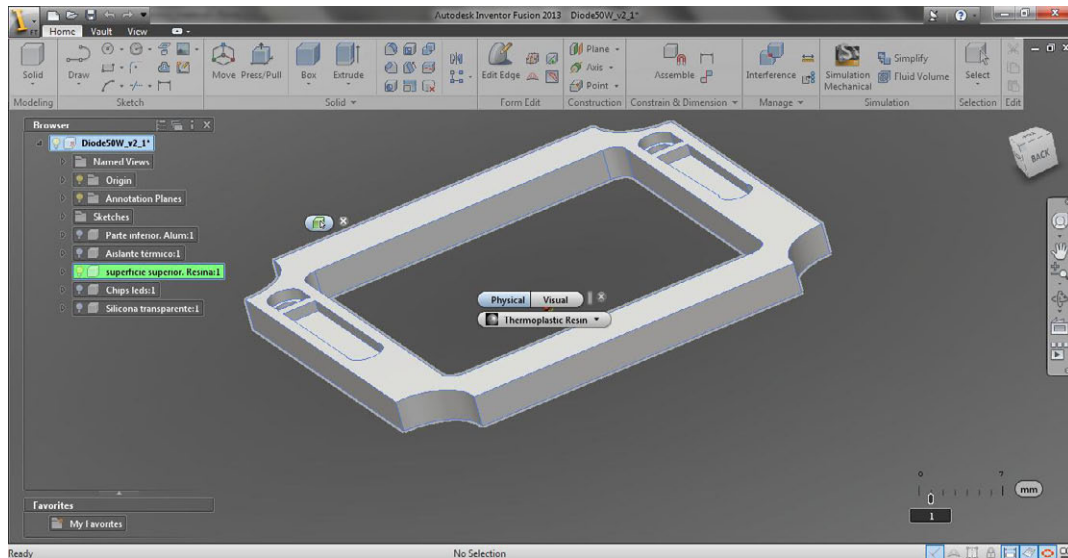


Figura 3.1 Imagen del software “Autodesk 2013 Inventor Fusion”

Uno de los errores más comunes a la hora de pensar en este modelador paramétrico, es la comparación con el resto de los programas CAD. Mientras que programas como Autocad se basan solamente en las dimensiones, Autodesk Inventor permite modelar dimensiones, geometría y materiales. De tal forma que si se cambian las dimensiones de la pieza diseñada, la geometría se modifica automáticamente según las nuevas dimensiones establecidas.

Una de las ventajas más importantes a la hora de realizar un diseño es que “Autodesk 2013 Inventor Fusion” permite utilizar cualquier modelo 3D diseñado anteriormente en un formato distinto y en otro programa independiente. De esta forma, el diseñador dispone de la posibilidad de mejorar el diseño sin la necesidad de modificar el formato y poder realizar los cambios necesarios. Gracias a ello, el diseñador puede almacenar sus conocimientos de cálculo en el modelo.

Una vez realizado el diseño de la pieza, se le atribuye el tipo de material correspondiente al que se debe simular con respecto a la pieza real. Las ventajas de este programa nos llevan a poder elegir diversos tipos de materiales con las características correspondientes a cada uno de ellos. De tal modo que este modelador posee la capacidad de crear piezas metálicas, de plástico, de cerámica, etc.

Los bloques de construcción de este modelador se basan en las piezas. Se comienza realizando un boceto (dibujo en 2D) y con la definición de características se crean dichas piezas. En el momento en que las piezas ya han sido diseñadas, pueden ser combinadas en ensamblajes.

Los formatos que utiliza Inventor son:

- Archivo de piezas (.IPT)
- Ensamblajes (.IAM)
- Vista del dibujo (.IDW y .DWG)
- Presentaciones(.IPN)

Mientras que el formato del archivo de AutoCAD (.DWG) puede ser importado o exportado como boceto.

3.1. Diseño en Autodesk Inventor Fusion

El programa Autodesk Inventor, facilita el diseño de diferentes tipos de piezas gracias a las diversas sentencias de las que dispone. En nuestro caso particular, las sentencias u opciones de diseño que presenta el programa, se han utilizado las que se describen a continuación.

3.1.1. Draw

El comando Draw permite el diseño de figuras a partir de la utilización de dibujar rectas, curvas. Además de ello, proporciona la posibilidad de poder seleccionar un punto concreto del boceto diseñado.

Al seleccionar dicho apartado, aparecen tres opciones posibles según las necesidades del diseño:

- **Draw:** Crea líneas y arcos. Se debe seleccionar el punto inicial de la línea y, posteriormente, se establece el punto final de la misma. Esta opción es muy útil cuando se necesita en una capa o cara diseñada, la modificación de alguna parte de la pieza ya diseñada. Por ejemplo, en el diseño de los agujeros pasantes del diodo de 10W, se ha utilizado estas líneas como referencia para poder calcular el punto exacto en el que se debe dibujar dicho agujero.
- **Point:** Crea un punto en el boceto. En el caso de necesitar un punto específico del boceto hay dos opciones para hacerlo; una de ellas es poner un punto al azar y, la otra, si se sabe el punto xy se especifica en los dos datos que aparecen en la pantalla al seleccionar esta opción.
- **Spline:** Esta opción da la posibilidad de generar líneas curvadas. Para ello, se deben ir seleccionando los diferentes puntos que forman las crestas de dichas ondulaciones.

3.1.2. Sketch.

La pieza comienza con el diseño de la capa inferior, y para ello, lo primero es dibujar en 2D dicha capa. Para ello, se utiliza el apartado *Sketch*, seleccionando la forma que posee dicha parte del diseño.

En el caso concreto del diseño de los diferentes diodos, de todas las sentencias disponibles en dicho apartado, se han usado:

- **Rectangle:** La sentencia triángulo está formada por las siguientes opciones de diseño:
 - **Center Rectangle:** Crea un rectángulo usando dos puntos. El primer punto seleccionado establece el centro del rectángulo, mientras que el segundo, define la distancia del centro con una de las esquinas.
 - **2- Point Rectangle:** Crea un rectángulo usando dos puntos, los cuales se encuentran en la diagonal en las esquinas. El primer punto seleccionado, especifica el inicio del rectángulo, mientras que el segundo, define las dimensiones del mismo (altura y anchura).
 - **3-Point Rectangle:** Crea un rectángulo usando tres puntos, los cuales definen la longitud, la dirección y el lado adyacente. El primer punto seleccionado establece el inicio del rectángulo, el segundo punto especifica la distancia y longitud de uno de los lados, mientras que el tercer punto establece la distancia entre los lados adyacentes.
- **Circle:** La sentencia círculo está formada por las siguientes opciones de diseño:
 - **Center-Radius Circle:** Crea un círculo usando el centro y radio del círculo. El primer punto seleccionado constituye el centro del círculo, posteriormente el segundo punto, establece la longitud del radio del mismo.
 - **Ellipse:** Crea una elipse definida por 3 puntos, el centro de la elipse y los dos ejes de la misma. El primer punto establece el centro, mientras que los dos puntos restantes constituyen los ejes mayor y menor de la elipse.
 - **2-Point Circle:** Crea un círculo definido por dos puntos. El primer punto seleccionado constituye un punto del círculo, mientras que, el segundo, establece otro punto opuesto. Generando así un círculo cuyo radio depende de la posición del segundo punto.
 - **Tan, tan, radius circle:** Crea un círculo tangente a dos figuras geométricas. Se deben seleccionar el lado de las

dos figuras a las que se desea realizar el círculo tangente. Con el tercer punto se establece el radio del mismo.

- **Filled:** Modifica las esquinas de la figura, dándole una forma circular.
- **Polygon:** La sentencia polígono está formada por las siguientes opciones de diseño:
 - **Circumscribed polygon:** Crea un polígono en el interior de un círculo. Se debe especificar el radio del círculo y el número de lados del polígono equilátero.
 - **Inscribed polygon:** Crea un círculo en el interior del polígono. Se debe especificar el radio del círculo y el número de lados del polígono equilátero.
 - **Edge polygon:** Crea un polígono equilátero. Se debe establecer el número de lados del mismo.
- **Arc:** La sentencia arco está formada por las siguientes opciones de diseño:
 - **3-Point Arc:** Crea un arco especificando tres puntos, inicio, final y tamaño del radio. En primer lugar en la arista donde se desea realizar el arco, en el caso concreto del proyecto hacer ovalado un extremo, se seleccionan los dos puntos donde debe comenzar y finalizar el arco. Una vez seleccionados ambos puntos, el tercero que se debe especificar corresponde al tamaño del radio del arco. Esta opción permite que, el arco diseñado sea elíptico o circular.
 - **Center- Point arc:** Se crea un arco definido con tres puntos. Al contrario que en el caso anterior, el primer punto seleccionado corresponde al centro del arco de tal forma que, el arco diseñado es circular, teniendo en todos los puntos del mismo el mismo radio.

3.1.3. Extrude

La sentencia extrude permite que una capa, que inicialmente se encuentra en 2D, se transforme en 3D, proporcionando de esta forma volumen a la pieza.

En primer lugar se debe dibujar la forma de la capa, con las modificaciones que sean necesarias (esquinas circulares, extremos ovalados, agujeros flotantes...), ya que una vez utilizado la sentencia extrude, es muy difícil realizar estas modificaciones.

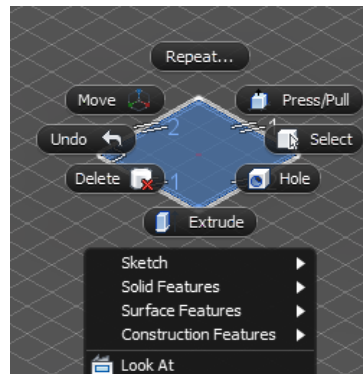


Figura 3.1.3.1 Ilustración sentencia extrude

Al seleccionar la superficie diseñada, aparecerá en color azul, esto significa que se ha seleccionado correctamente. Pulsando el botón derecho del ratón aparecen diferentes sentencias de diseño. Entre ellas, se selecciona la sentencia extrude.

En el menú que aparece tras elegir la sentencia extrude aparecen las diferentes opciones que se deben establecer según el diseño de la capa:



Figura 3.1.3.2 Menú sentencia extrude

De todos los apartados que aparecen, en el caso del diseño de los diodos de este proyecto, únicamente se han utilizado los descritos a continuación:

- **Along distance:** Permite especificar la longitud necesaria que debe incrementar el nuevo componente de la pieza. Al establecer un valor en este apartado, aparecerá en el recuadro que se muestra al seleccionar la superficie.
- **Directions:** Al seleccionar la superficie dibujada, aparece una flecha que indica la dirección en la que se va a incrementar la superficie.

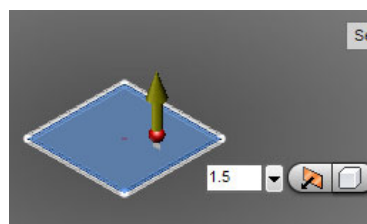


Figura 3.1.3.3 Incremento de la capa

Existen tres opciones para establecer la dirección de incremento de la superficie:

- **One direction:** La capa aumenta en una única dirección.
- **Symmetric:** La capa aumenta en dos direcciones simétricamente. Es decir, aumenta a cada lado la mitad del valor elegido.
- **Asymmetric:** La capa aumenta en ambas direcciones pero con valores diferentes. Se deben establecer ambos valores uno positivo y otro en negativo.
- **Boolean Options:** En este apartado, se elige el tipo de componente que se desea diseñar. Las opciones que presenta son:
 - **New component:** Crea un nuevo componente. El nueva capa diseñada es independiente con respecto al resto de los capas del diseño.
 - **Join:** Añade a la capa una nueva parte de la misma. Según el diseño realizado anteriormente.
 - **Cut:** Elimina parte de la capa creada. En el caso de que se necesite reducir la altura de la capa se selecciona esta opción y se establece la longitud a reducir.
 - **Intersect:** Elimina todo el material para que no se solape con la capa diseñada.

En el caso del diseño de la capa inferior se debe seleccionar como un nuevo componente, en una única dirección y con una altura de por ejemplo, 1,5 mm. El resultado final es un cubo cuyas dimensiones son 40 mm x 40 mm x 1,5 mm (mm³) .

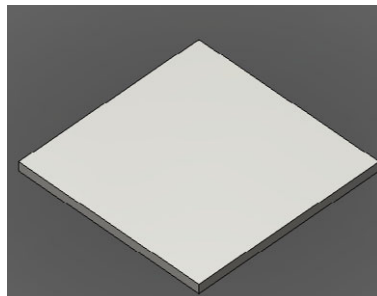


Figura 3.1.3.4 Resultado de la capa

En el caso de los diodos de potencia 10 y 50W, una de las capas de los mismos están compuestos por una serie de terminales, los cuales proporcionan la polaridad del diodo.

Estos terminales forman parte de la misma capa a los que están insertados. Por lo que, al contrario del resto de las capas del diodo, los terminales deben formar parte de la capa, llamada en este proyecto, *Capa de terminales*.

El diseño de estos terminales, debe ser diferente al que se ha utilizado para crear nuevas capas. En primer lugar se debe dibujar, en la cara superior de la capa, un cuadrado con el tamaño que deben tener los terminales. Posteriormente, con la sentencia *extrude* se consigue que éstos tomen volumen. Para ello, de las opciones booleanas que nos ofrece esta sentencia, se elige *Join*. Consiguiendo con ello, que los terminales formen parte de la capa.

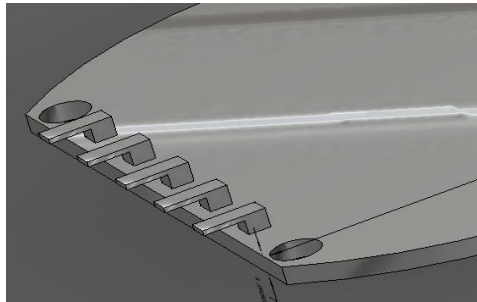


Figura 3.1.3.5 Diseño de los terminales

3.1.4. Tipos de formas

Debido a que el programa que se ha utilizado, *Autodesk Inventor Fusion*, en el diseño de los diodos, actualmente es uno de los modeladores paramétrico más avanzado, permite diseñar infinidad de piezas de diferentes formas. Tales como circulares, ovaladas, esféricas, etc.

En el caso concreto del diseño de los tres diodos estudiados en este proyecto, las capas de las que está compuesto cada uno de ellos, tienen varias de las formas mencionadas anteriormente.

El diodo de 10W está formado por seis capas diferentes. Entre las mismas, existen capas en las que las esquinas son circulares (capa silicona transparente), otra en la que las esquinas se ha realizado un agujero (capa inferior de aluminio). Al igual ocurre con el diodo de 50 W, el cual está formado por seis capas, entre las cuales una de ellas los extremos son ovalados (capa inferior de aluminio), otras que las esquinas son circulares (capa de silicona transparente). Mientras que en el caso del diodo de 3W, está formado por 8 capas, la mayoría de ellas son circulares y esféricas.

A continuación, se explica el diseño de cada una de ellas.

3.1.5. Esquinas circulares

Una vez dibujado el contorno de la capa que se va a diseñar, antes de dar volumen a la misma se deben realizar todas las modificaciones necesarias. En primer lugar se dibuja el tamaño de la capa con forma de rectángulo. Posteriormente, utilizando en el apartado *Sketch* la opción de **fillet** permite realizar las esquinas en forma circular. Ya que se genera un arco en el que se debe especificar el tamaño del radio que debe tener.

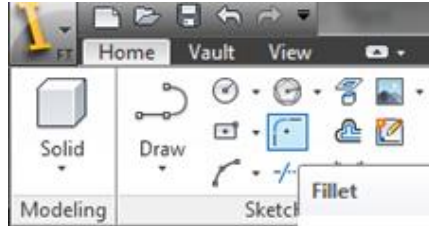


Figura 3.1.5.1 Menú principal

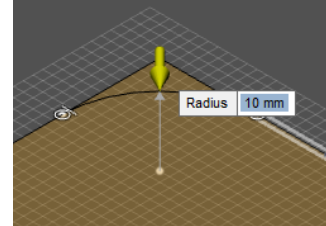


Figura 3.1.5.2 Esquinas circulares

Para ello una vez seleccionado *fillet*, se debe seleccionar las líneas de la capa que están unidas por la esquina. Una vez seleccionado ambas aristas, aparece una flecha que indica la dirección en la que se va a realizar la intersección del ángulo que se debe establecer en el apartado que aparece junto a esa flecha.

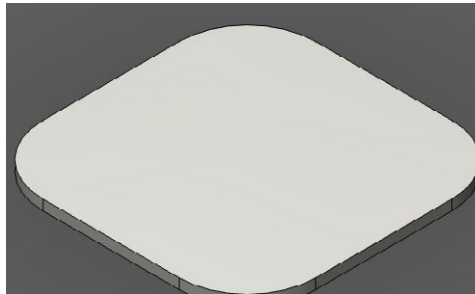


Figura 3.1.5.3 Resultado esquinas circulares

3.1.6. Ovaladas

Otra de las posibles formas que pueden encontrarse en las capas de los diodos, es que los extremos sean ovalados.

En el diodo de 50W, existe una capa (capa inferior) en la que dos de sus extremos son ovalados. Para poder diseñarlo, una vez que se haya dibujado un rectángulo con las medidas correspondientes a esta capa, en el apartado *Sketch*, se selecciona la opción *Arc*. De las dos opciones que aparecen se debe elegir la primera opción (3-Point Arc).

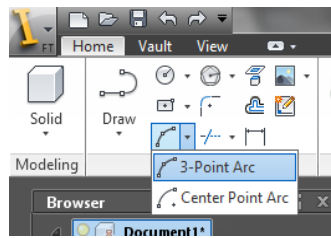


Figura 3.1.6.1 Menú principal

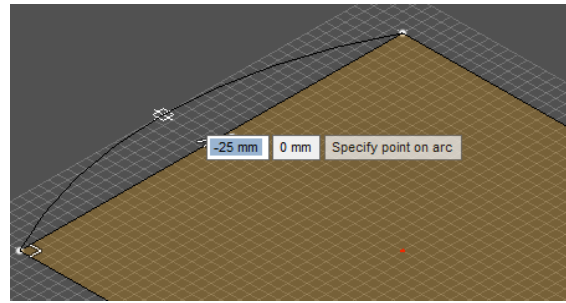


Figura 3.1.6.2 Esquinas ovaladas

El resultado de ello es:

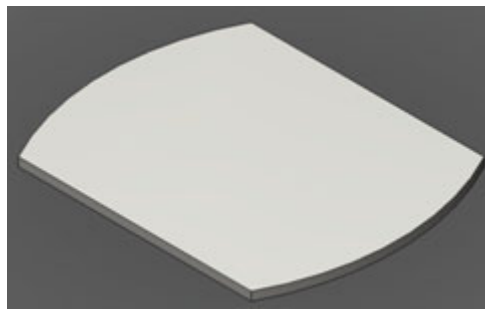


Figura 3.1.6.3 Resultado esquinas ovaladas

3.1.7. Agujeros

Existen varios tipos de agujeros que se han realizado en los diferentes diodos. En el diodo de potencia 10W, existen agujeros pasantes, otros que se han utilizado para poder realizar las esquinas seccionadas. En el diodo de potencia de 50W, se han realizado agujeros en la capa inferior del mismo, capa de aluminio.

Para realizar el diseño de los agujeros se pueden realizar de diferentes formas. En este caso, se han utilizados dos formas diferentes para el diseño de los mismos.

Las opciones utilizadas son la sentencia hole y las sentencias press/pull y extrude.

3.1.7.1. Sentencia Hole

La opción más sencilla y rápida para poder realizar agujeros en una capa es con la opción *hole*. En este caso, la capa en la que se desean realizar algún tipo de agujero, debe tener ya volumen.

Una vez que se tiene la pieza en 3D, en las diversas opciones de diseño que aparecen el menú principal del programa, en el apartado de *Solid*, se selecciona la opción de *hole*:

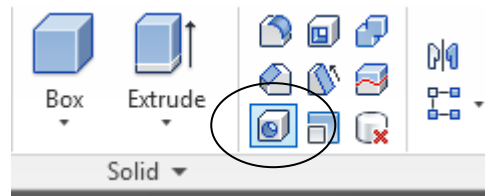





Figura 3.1.7.1.1 Menú principal Hole

Esta opción permite crear agujeros entre puntos o entre figuras geométricas.

En el menú que se desglosa al seleccionar este modo de diseño, aparecen diferentes opciones que deben ser especificadas para poder generar el agujero deseado.

- **Tipo de agujeros:** Existen tres posibles agujeros que pueden ser generados según el tipo de forma del mismo.
 -  **Simple:** El tipo de agujero es normal sin ningún tipo de forma.
 -  **Counterbore:** Los agujeros poseen un diámetro específico, el agujero tiene tipo de escariado.
 -  **Countersink:** Los agujeros poseen un diámetro específico, el agujero tiene tipo de avellana.

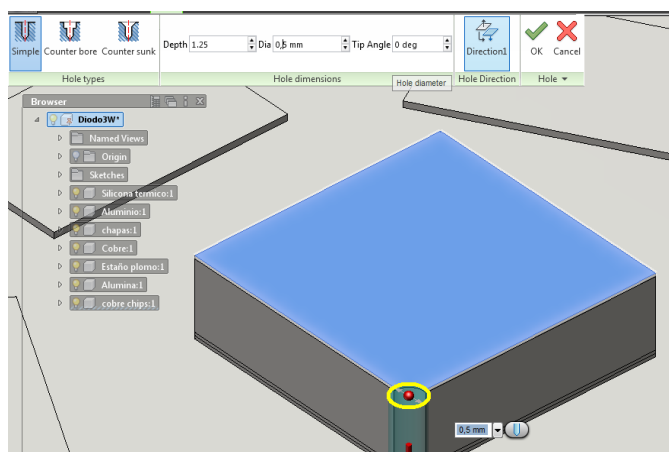


Figura 3.1.7.1.2 Menú diseño Hole

- **Depth:** Valor de la profundidad que se desea generar el agujero. Al seleccionar dicho valor aparecerá una flecha

que indica dicha profundidad. Por lo que, si el valor establecido es positivo, la profundidad del agujero se producirá perpendicularmente en la dirección negativa del eje z de coordenadas, desde la cara superior de la capa. Mientras que, si el valor es negativo, el agujero se realizará perpendicularmente en dirección positiva al eje z de coordenadas.

- **Diameter:** Se establece la medida que debe tener el diámetro del agujero.
- **Direction:** Muestra la dirección en el que se va a generar el agujero.

Esta opción de diseño se ha utilizado en el diseño de las esquinas seccionadas de la capa inferior (capa de aluminio) del diodo de 10W. Una vez seleccionadas todas las opciones, el resultado será:

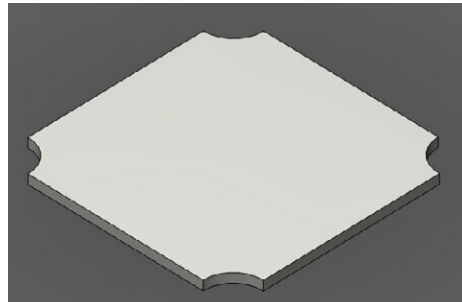


Figura 3.1.7.1.3 Resultado de Hole

3.1.7.2. Agujero con extrude o press /pull

Otra opción en la que se puede realizar agujeros es utilizando la sentencia extrude. Para ello, se debe seleccionar la cara superior de la capa.

En esta cara se debe dibujar el círculo que corresponderá al agujero a diseñar. Para ello, se debe seleccionar en el apartado *Sketch* la opción *Circle* y eligiendo la primera opción que aparece en el menú que se despliega, se debe dibujar el círculo definiendo el tamaño del radio del mismo.

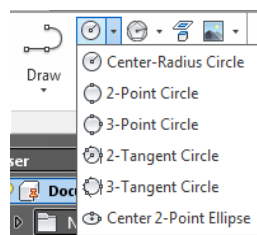


Figura 3.1.7.2.1 Menú principal



Figura 3.1.7.2.2 Dibujo del agujero

Una vez que se tiene el dibujo del círculo se puede utilizar las sentencias *extrude* o *press/pull* para realizar la sección del mismo.



Figura 3.1.7.2.3 Menú press/pull

En el caso de seleccionar la sentencia *extrude*, en el menú que se muestra, la opción booleana que se debe elegir, en este caso, *cut* de esta forma el círculo dibujado y seleccionado, será seccionado con la profundidad que se establezca en el apartado Along distance. El valor debe estar en negativo, de esta forma, se corta de forma perpendicular a la cara y en sentido negativo del eje z de coordenadas.

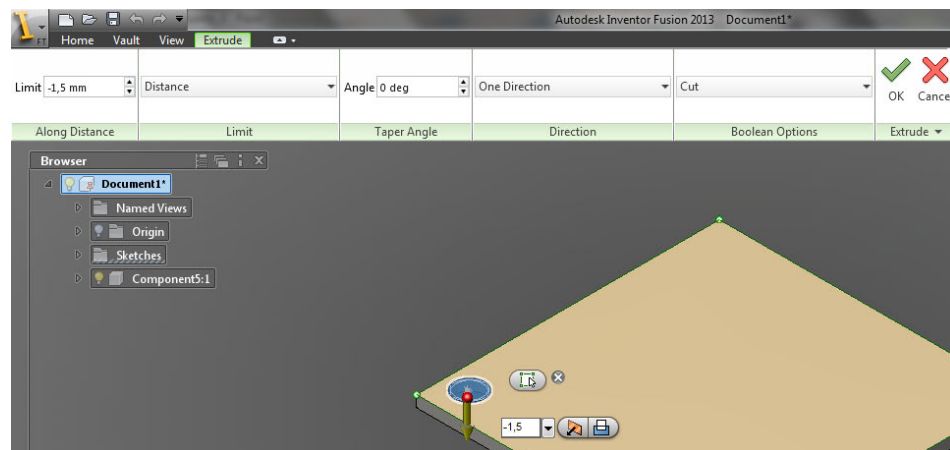


Figura 3.1.7.2.4 Menú principal

Esta opción se ha utilizado en el diseño de los agujeros pasantes de la capa inferior del diodo de 10W.

Si en lugar de seleccionar *extrude* la opción elegida es *Press/pull*, en el menú que aparece el valor que se debe poner, es la distancia que se desea cortar la superficie señalada y en valor negativo. De esta forma dicha superficie se cortará, ya que si el valor que se pone es positivo la distancia establecida, se incrementa en la capa.

3.2. Materiales de las capas

En el momento en que la nueva pieza ya se ha diseñado y está compuesta de cada una de las capas. Es imprescindible, para que después se puedan hacer las simulaciones térmicas de los distintos diodos, que se establezca los diferentes materiales que componen las capas, teniendo en cuenta la funcionalidad de cada una de las capas en el componente.

Para poder establecer el material en las capas, en primer lugar en la parte de la izquierda del programa, aparecen las diferentes capas diseñadas. Se debe seleccionar cada una de las capas y con el botón derecho del ratón se selecciona una de ellas. En el menú que se despliega se debe escoger la opción Materials.

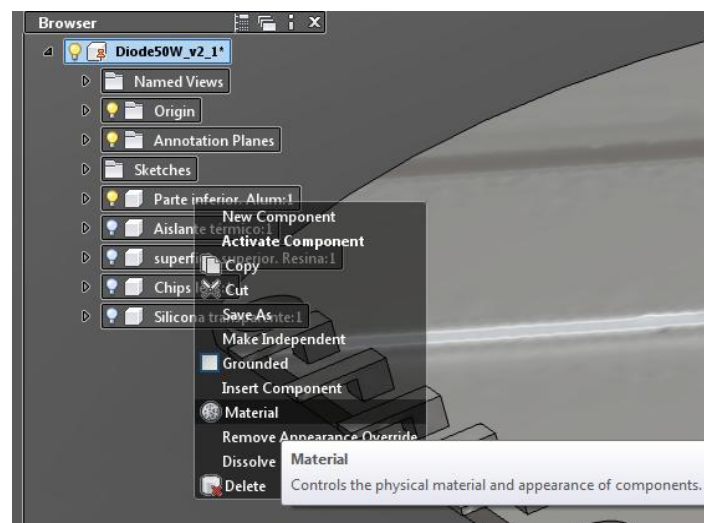


Figura 3.2.1 Menú con la selección de materiales

En el momento en que esta opción es elegida, aparecen las diferentes opciones que se deben seleccionar. En primer lugar, se elige el material de la capa seleccionada dependiendo de las propiedades que presenta este tipo de material. Para poder escoger el material se debe seleccionar en Physical apareciendo de esta forma todos los diferentes materiales que existen. Una vez seleccionado el material se debe escoger el color y la textura que este vaya a tener en la capa. Para ello, se usa la otra opción, Visual.

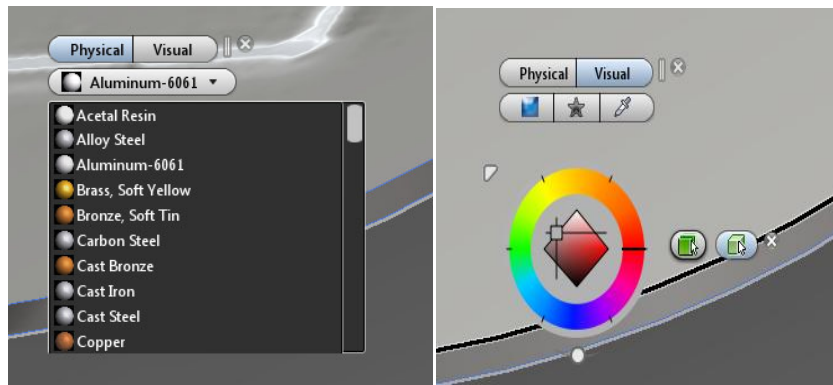


Figura 3.2.2 Elección de los materiales y color de la capa

Hay materiales que la textura que tienen son rugosa, lisa, etc. Además de ello, la característica visual del mismo puede ser opaco, translucido, etc. En el caso de los diodos blancos de alta potencia la parte en la que se encuentra los chips está recubierta por un material translucido y para ello, se ha elegido la opción de cristal, de esta forma la parte es translúcida.

3.3. Diseño Autodesk Simulation and Multiphysics

En este apartado se va a explicar la manera de convertir un diseño con Autodesk Inventor Fusion a Autodesk Simulation and Multiphysics.

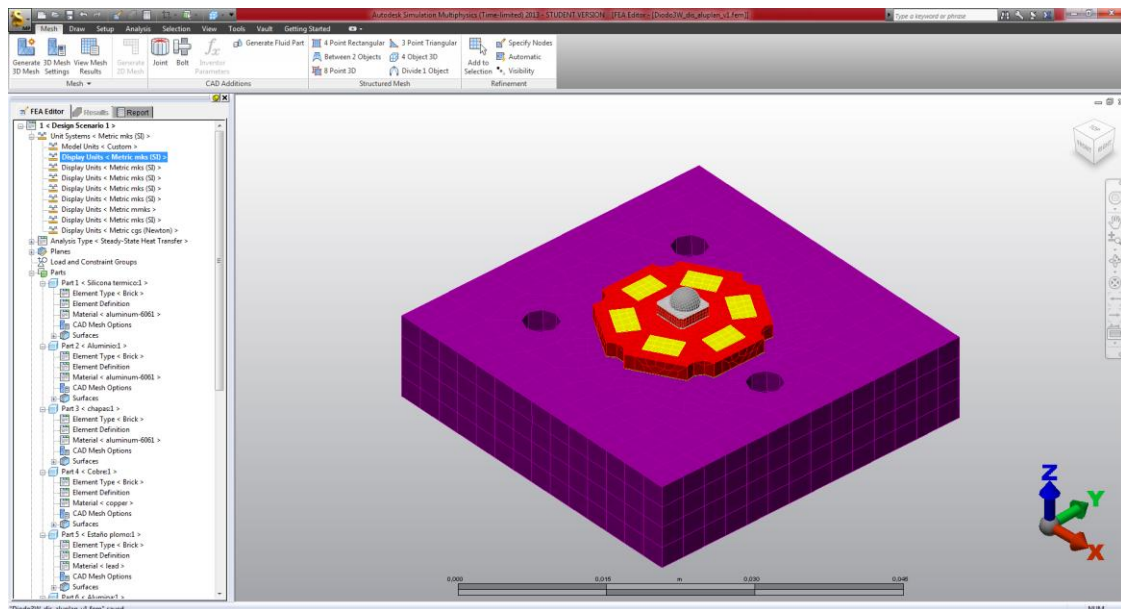


Figura 3.3.1 Imagen del software “Autodesk 2013 Simulation and Multiphysics”

Una vez que el diseño de la pieza se ha llevado a cabo en el programa “Autodesk 2013 Inventor Fusion”, se debe generar el fichero .fem necesario para poder ser usado en el nuevo programa de simulación. Para ello, en el “Autodesk 2013 Inventor Fusion” se debe pinchar en el icono que muestra el nuevo programa.

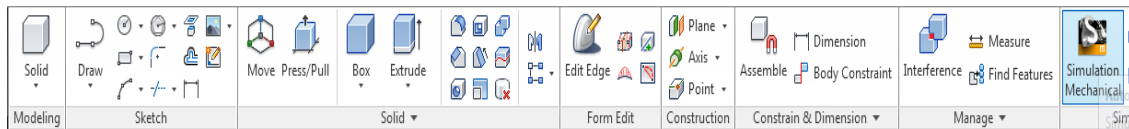


Figura 3.3.2 Icono para convertir a fichero .fem

Una vez seleccionado se abre el nuevo programa creando el fichero .fem y se abre una pantalla con el diseño realizado y en la parte izquierda aparecen las diferentes capas con cada uno de los materiales. En un primer momento aparecen en rojo ya que se debe generar la MESH. Seleccionando en el menú la opción Mesh→Generate 3D Mesh.

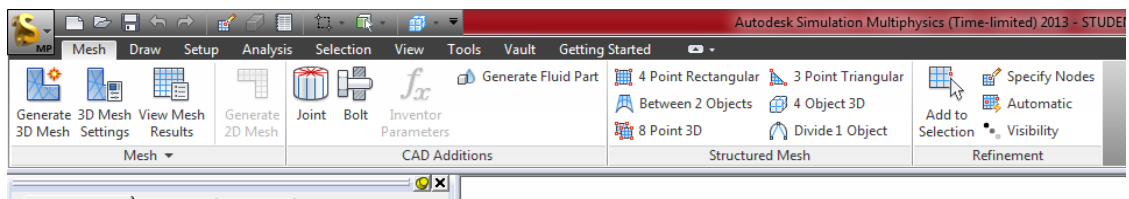


Figura 3.3.3 Menu principal software “Autodesk 2013 Simulation and Multiphysics”

Si la generación se ha realizado correctamente, aparecerá una pantalla en la que te indique la información creada para el diseño y además, la columna de la parte izquierda en la que esta la información de cada una de las capas pasará del tono rojo al tono negro.

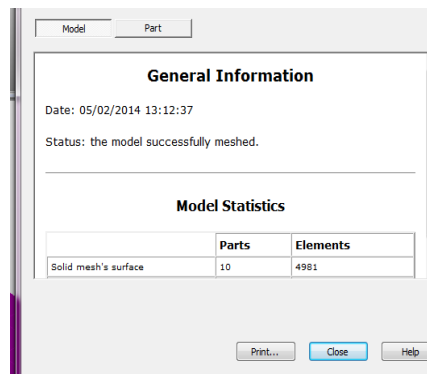


Figura 3.3.4 Mensaje correcto de Generate 3d Mesh

De las diversas opciones que nos facilita el programa para las unidades de medida, se debe seleccionar display units mks (SI).

A continuación se deben elegir los materiales de cada una de las capas teniendo en cuenta que la conductividad térmica que presenta este tipo de material debe ser muy parecido al que presenta el material real. En el caso de los chips, el material elegido en el software es el Silicio, ya que en las librerías que componen los materiales en el programa no viene el germanio.

Una vez que los materiales de las diferentes capas han sido elegidos, se debe poner los valores de diferentes coeficientes necesarios en las simulaciones térmicas. Entre estos valores se encuentran:

- Coeficiente de convección térmica: Se deben seleccionar las diferentes caras de la pieza que tengan el mismo coeficiente de convección térmica y pinchando en el botón derecho del ratón aparece un menú en el que se debe seleccionar Add→Surface convection load y, en la pantalla que aparece se poner dicho valor:

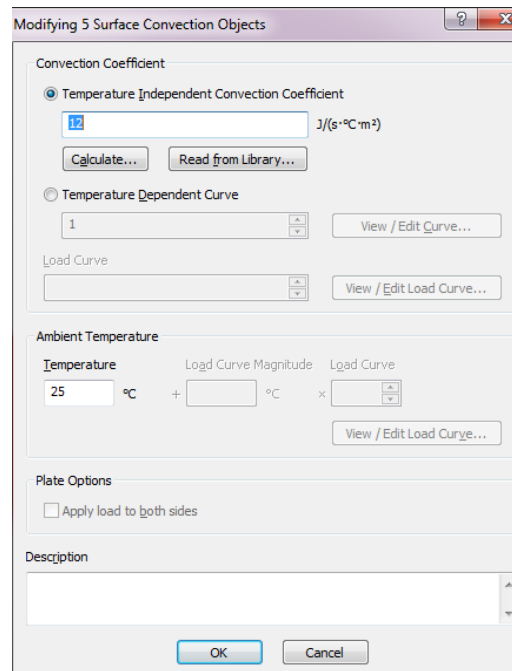


Figura 3.3.5 Menú coeficiente de convección térmica

- Coeficiente de generación térmica: En primer lugar se debe calcular este valor teniendo en cuenta el volumen del diodo y la potencia térmica del mismo. Una vez calculado se debe seleccionar el chip y en el menú principal del programa se debe seleccionar la opción Internal Heat Generation, y posteriormente, en la pantalla que sale se establece el valor calculado.

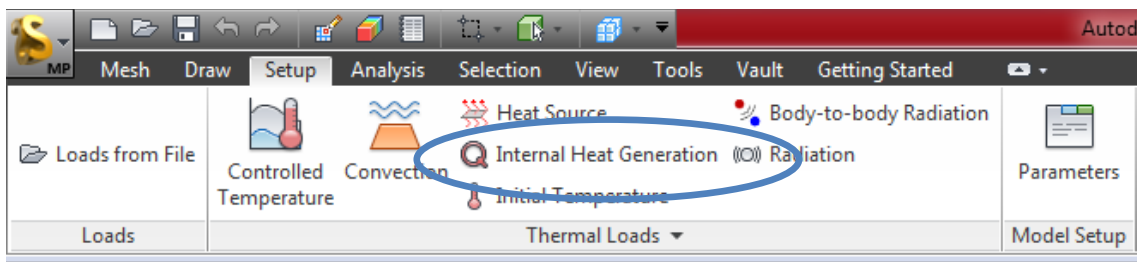


Figura 3.3.6 Icono coeficiente de generación térmica

- Valor de la temperatura inicial: la temperatura inicial que se ha establecido en cada una de las simulaciones es de 25°C. Para ello, se selecciona cada una de las capas y en el menú inicial se elige Initial Temperature

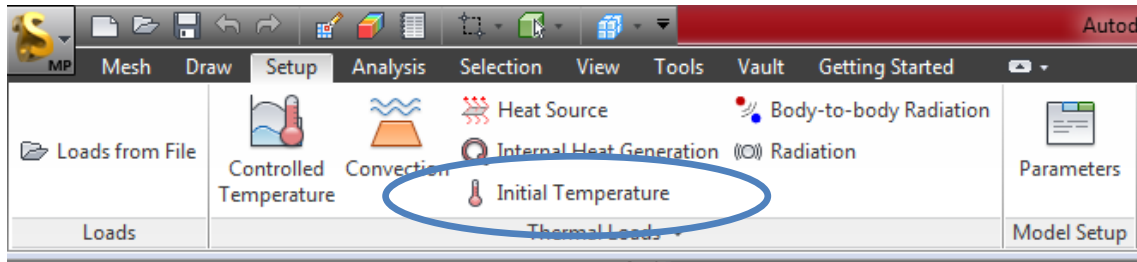


Figura 3.3.7 Icono temperatura inicial

Una vez realizado la configuraciones de cada uno de los coeficientes para llevar a cabo las simulaciones, falta calcular el coeficiente de convección térmica (h), y para ello, se ha utilizado el programa online Thermal Wizard.

A continuación se realiza una pequeña descripción del mismo.

3.4. Thermal Wizard

El programa Thermal Wizard permite calcular el coeficiente de convección térmica a partir del tamaño que presenta la capa, la temperatura a la que se encuentra la capa, las propiedades el medio en el que se está midiendo.

A lo largo de este proyecto se realiza la explicación del cálculo de cada uno de los coeficientes de convección que presenta cada capa.

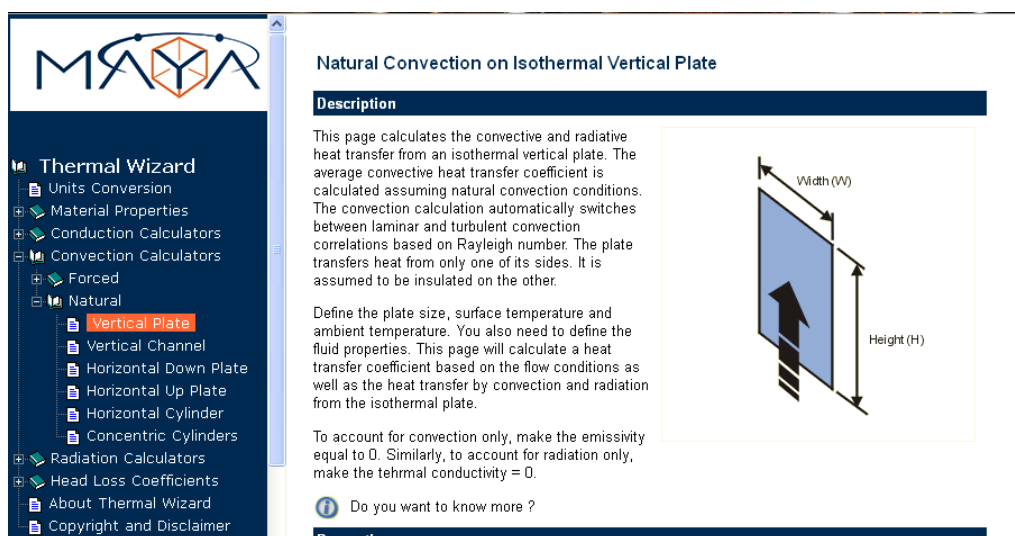


Figura 3.4.1 Thermal Wizard

En el caso concreto de este proyecto, de las opciones que nos ofrece el programa únicamente se ha utilizado Vertical Plate y Horizontal Plate, para poder calcular el coeficiente de convección térmico de cada uno de las capas.

Capítulo 4: Diseño mecánico de LEDs en Autodesk

4. Diseño y modelado de LEDs.

En este trabajo se han diseñado LEDs de alta potencia para dos tipos de aplicaciones distintas.

a) LEDs blancos de alta potencia para luminarias de iluminación interior o exterior.

- LED de 10W
- LED de 50W

b) LEDs del ultravioleta cercano (UVA) (365 nm) para sensado de contaminantes hidrocarburos en ríos y lagos.

a) Los LEDs blancos de alta potencia empleados son de un fabricante taiwanés especializada en LEDs blancos de alta potencia. Dicha empresa se centra en la fabricación de LEDs para formar con ellos luminarias, en este caso con LEDs de 10W y 50W se podrían realizar luminarias de alumbrado público de alta potencia.

La razón de emplear LEDs de esta empresa comprados directamente a Taiwan es su precio y su excepcionalidad en cuanto a nivel de vatios e iluminación, en España se pueden encontrar LEDs de 10W a un precio mucho mayor, y difícilmente se pueden conseguir comercialmente LEDs de 50W. Estos LEDs se compraron para la realización de otro PFC aún no presentado en paralelo con éste (autor, Pablo Cano Milan), en dicho PFC se realizó el hardware de disipación de los LEDs, su caracterización, diversas pruebas de fiabilidad, y fundamentalmente medidas de temperatura con diferentes niveles de inyección de corriente (potencia e iluminación) que serán las que realimente nuestras simulaciones.

b) El ultravioleta de 3W se está probando en un proyecto de investigación de una Tesis, su uso sería como sensor para evidenciar la fluorescencia de agua de ríos contaminada con cualquier tipo de hidrocarburo (gasolina, gasoil, etc...). El agua con contaminantes hidrocarburos al ser incidida por una luz ultravioleta fluoresce (se produce fluorescencia), es decir, absorbe parte de la energía de luz ultravioleta y la emite en un rango de frecuencias más bajas que se desplaza en nm en función del tipo de hidrocarburo. Esto implica que deja una huella que un espectrómetro puede detectar y por tanto identificar en tiempo real si el agua de un río ha sido contaminada. La idea a medio plazo es diseñar sistemas de medida de contaminación en tiempo real, que se añadirían a las casetas con sensores ya instalados en las corrientes de los ríos para identificar sus características, o para realizar un sistema portátil. En ambos

casos y especialmente en el sistema portátil el volumen del sistema es crítico y por tanto debe optimizarse la disipación para obtener la mayor luz posible del LED en el menor volumen y con el menor incremento de temperatura en la unión del chip, para aumentar su eficiencia y su duración.

En este capítulo se muestra el desarrollo de los encapsulados y disipadores probados, y en el siguiente capítulo veremos los resultados de las simulaciones y su comparación con las medidas de temperatura realizadas en el laboratorio.

Diseño mecánico LED blanco de 50W

4.1. Diseño mecánico del diodo de 50W

El siguiente diodo que se ha diseñado es el diodo blanco de alta potencia de 50W. Utilizando el datasheet, se obtiene la información necesaria de las medidas para poder realizar el diseño de cada una de las capas.

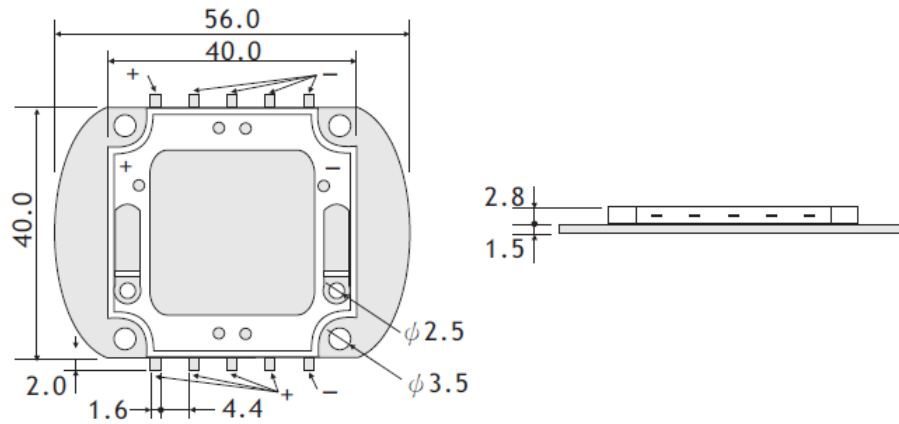


Figura 4.1.1 Medidas del diodo de 50W

* Las medidas están en mm.

Una vez diseñado cada una de las capas del diodo en el programa Autodesk Inventor Fusion, el resultado del mismo es:

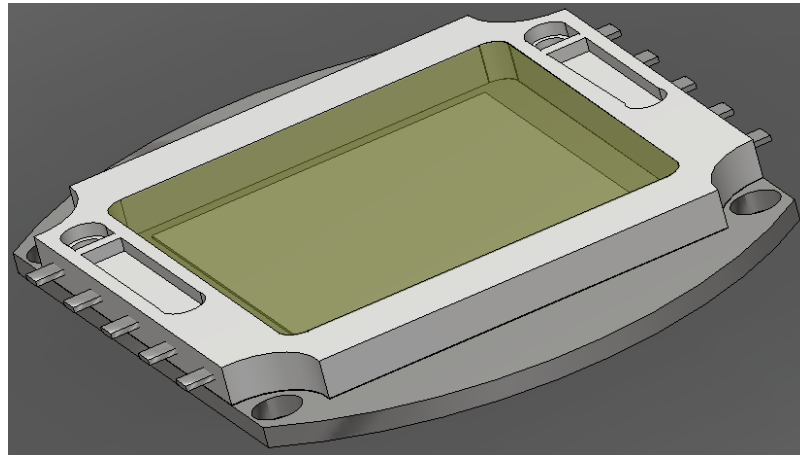
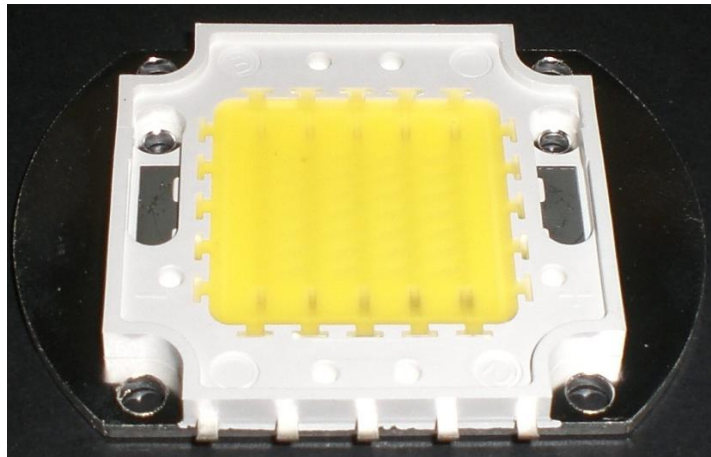


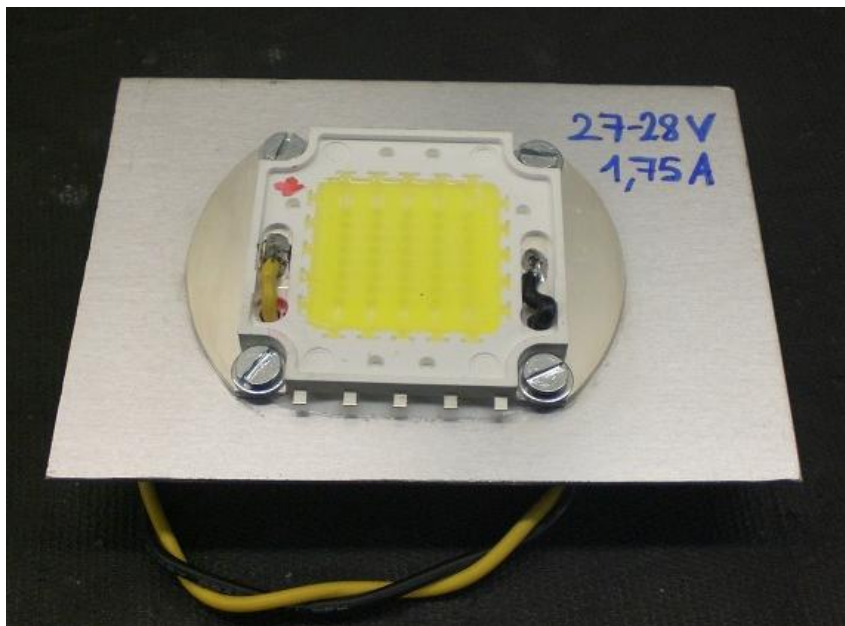
Figura 4.1.2 Diseño mecánico diodo de 50 W

A continuación se muestra el LED real de 50W.



*Referencia: P.C.M.**

El disipador térmico que se ha utilizado en el caso del diodo de 10W es una placa de aluminio cuyo volumen es 8,3 cm x 8,3 cm x 0,1 cm (6,889 cm³)



*Referencia: P.C.M.**

4.1.1. Diseño por capas

4.1.1.1. Capa de aluminio

En el caso de la capa inferior del diodo de 50W, los terminales que determina la polaridad del diodo forma parte de esta capa.

Aparte de los terminales, la peculiaridad que presenta, es la forma ovalada de dos de sus extremos y los agujeros pasantes en cada una de las esquinas de esta capa.

El diseño comienza dibujando el tipo de forma que presenta esta capa. Para ello, con la sentencia Rectangle→Center Rectangle se crea un rectángulo cuyas medidas son 40mm x 40 mm (1600 mm^2). Según el datasheet de este diodo, los extremos deben ser ovalados. Por lo que, una vez que se ha dibujado la forma cuadrada de la capa se procede a la modificación de estos extremos. Utilizando la opción Arc→3-Point Arc, se diseña el tamaño del arco. En este caso, puesto que la longitud de la capa debe ser de 56 mm, el arco debe ser de 8mm. Se realiza el mismo proceso para el extremo contrario.

En este momento, se tiene un boceto con la morfología que tiene la capa. El siguiente paso a llevar a cabo es dar volumen a este boceto. Con la sentencia extrude y utilizando la sentencia booleana New component, se da una altura de 1,5mm.

El diseño de los terminales es el mismo que se ha utilizado para el diodo de 10W. Las medidas de estos son:

- La altura de los terminales es de 1,6mm
- La base de los terminales es de 1,6 mm x 1,6 mm ($2,56 \text{ mm}^2$)
- La parte que sale del diodo mide 2 mm.

De la misma forma, el diseño de los agujeros pasantes es mediante la sentencia hole, antes de ello con la ayuda de las líneas creadas a partir de draw, se calcula la posición exacta que debe tener estos agujeros. Con la opción hole se realiza cuatro taladros de diámetro 3,5mm.

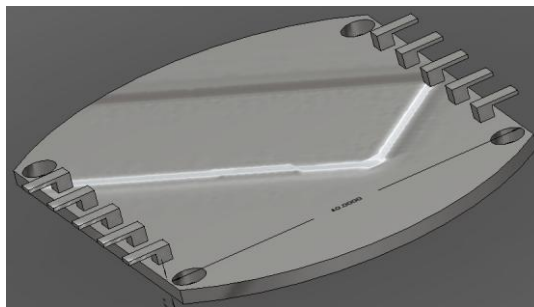


Figura 4.1.1.1.1 Capa de aluminio diodo de 50W

4.1.1.2. Capa aislante eléctrico

La segunda capa de la que está formado el diodo de 50W es la capa aislante eléctrico. Esta capa presenta la misma morfología que la capa de aluminio pero con la diferencia de que los extremos no son ovalados.

Seleccionando la cara superior de la capa de aluminio y utilizando la opción extrude, se crea una nueva capa con un grosor de 50µm.

Debido a que las esquinas de esta capa están seccionadas, utilizando la opción hole y estableciendo como radio 5mm y una profundidad de 50µm, se crean las secciones mencionadas.

Los huecos que aparecen en dos de los extremos pertenecen a los huecos necesarios para que los terminales diseñados en la capa anterior sobresalgan del diodo.

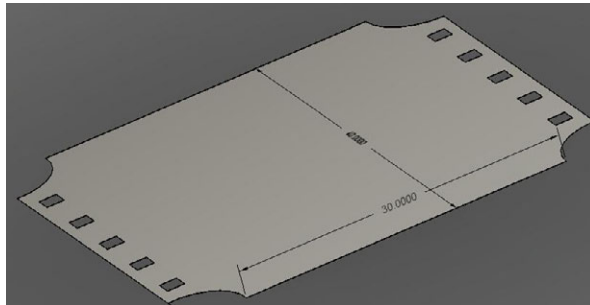


Figura 4.1.1.2.1 Capa de aislante eléctrico diodo de 50W

4.1.1.3. Capa de chips LEDs

La capa de chips está unida con la capa de aislante eléctrico. Por lo que, se debe seleccionar la cara superior de esta capa y se debe dibujar la forma que va a tener la nueva capa. Utilizando la sentencia Rectangle→Center Rectangle se dibuja un rectángulo céntrico con unas dimensiones 27 mm x 25 mm (675 mm²).

Una vez dibujado el rectángulo se utiliza la sentencia extrude para darle volumen. El grosor de esta capa es de 200µm.

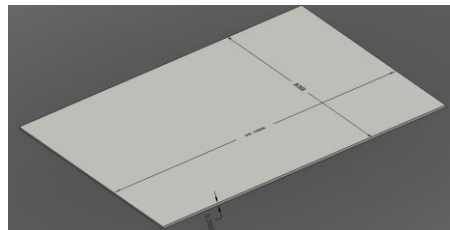


Figura 4.1.1.3.1 Capa de chips diodo de 50W

Diseño mecánico LED blanco de 10W

4.2. Diseño del diodo blanco de 10W

Este capítulo comienza con el diseño del diodo blanco de alta potencia de 10W. Consultando en el datasheet de dicho diodo, se tiene la información necesaria de las medidas para poder realizar el diseño de este diodo.

Según el datasheet, las medidas y diferentes capas que forman el diodo de potencia 10W son:

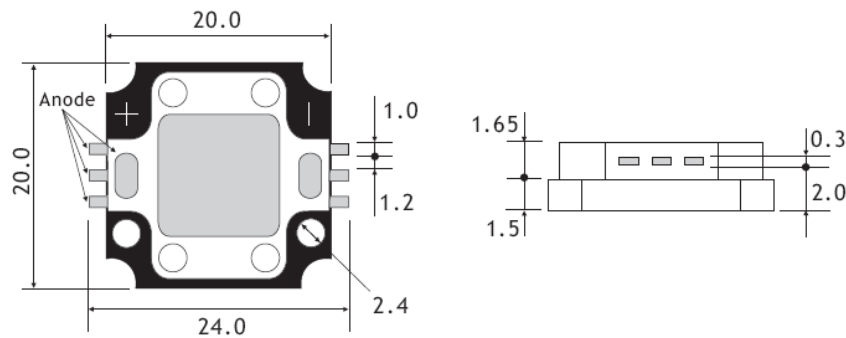


Figura 4.2.1 Medidas del diodo de 10W

** Las medidas están en mm.*

Una vez diseñado cada una de las capas del diodo en el programa Autodesk Inventor Fusion, el resultado del mismo es:

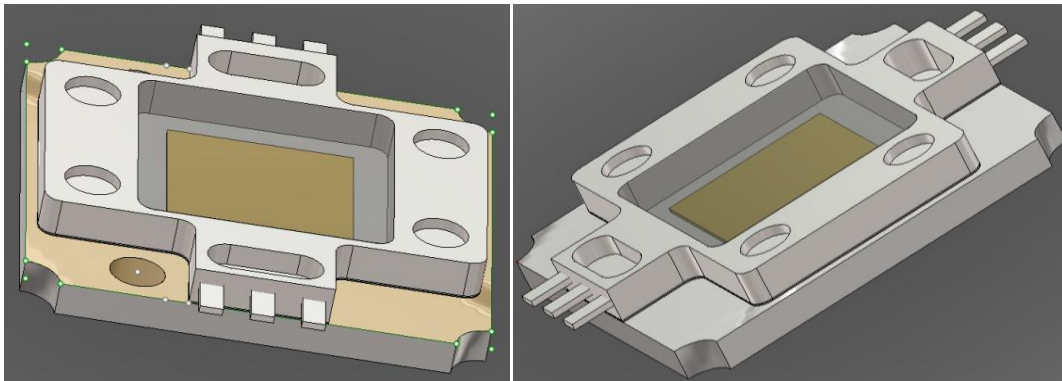
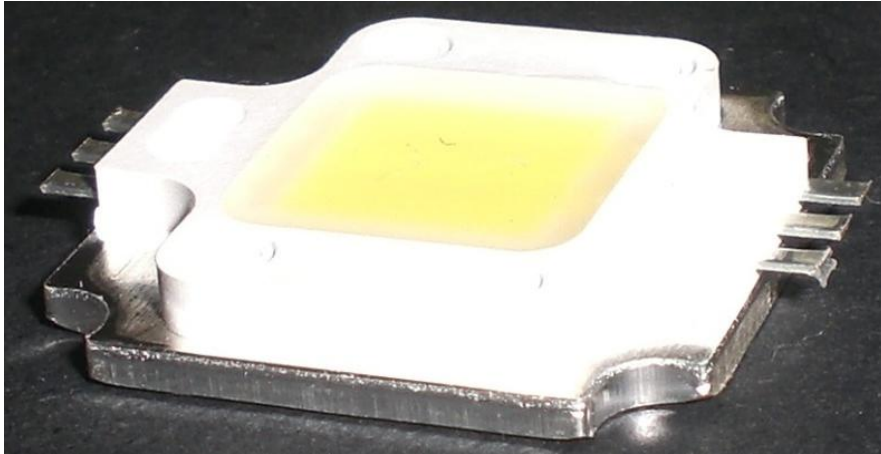


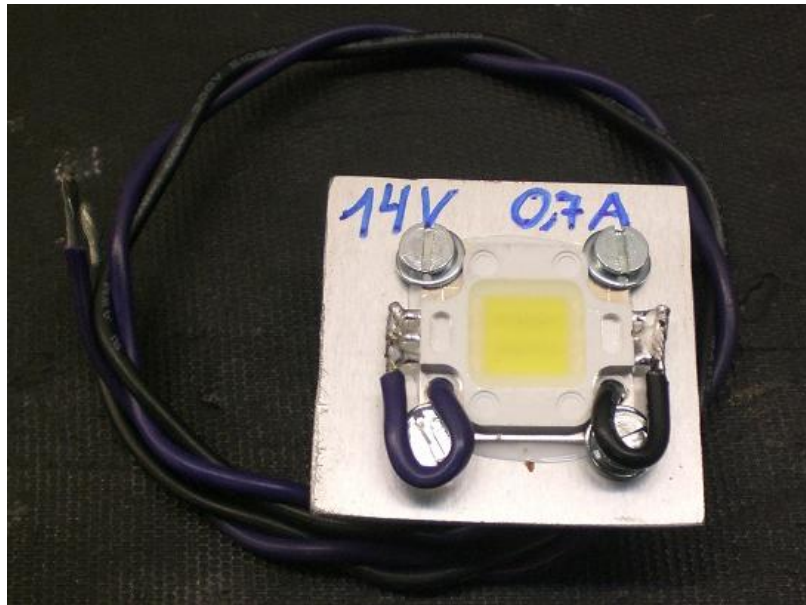
Figura 4.2.2 Diseño mecánico del diodo de 10W

A continuación se muestra una imagen física del LED de 10W.



*Imagen obtenida del PFC de Pablo Cano Milán (P.C.M.)**

El disipador térmico que se ha utilizado en el caso del diodo de 10W es una placa de aluminio cuyo volumen es 3,7 cm x 3,7 cm x 0,1 cm (1,369 cm³)



*Referencia: P.C.M.**

4.2.1. Diseño por capas

4.2.1.1. Capa de aluminio

La capa de aluminio, forma la capa inferior del diodo de 10W. La capa inferior de cada uno de los diodos, son las que

posteriormente, a la hora de realizar los ensayos térmicos en el horno del laboratorio, es la que contacta directamente con la placa de refrigeración, necesaria para poder generar la disipación térmica. Los ensayos realizados en el laboratorio con estos diodos consisten en el estudio de la disipación térmica de los mismos.

Las medidas que tiene esta capa son:

- Ancho:20mm
- Largo:20mm
- Alto:1,5mm

El diseño de la capa comienza dibujando el polígono que posteriormente, forma esta capa. Para ello, se utiliza la opción Rectangle → Center rectangle, creándose de esta forma, un cuadrado cuyas dimensiones son 20 mm x 20 mm (400 mm²). Una vez que el cuadrado ha sido dibujado, se debe crear el volumen de la capa. Esto es posible gracias a la sentencia extrude, estableciendo como valor de incremento una altura de 1,5mm y seleccionando como opción booleana New component.

Una de las particularidades que presenta esta capa, es la sección que se forma en cada una de las esquinas de la misma, seccionadas en forma circular. El diámetro de estos agujeros es de 3mm. Para poder realizar estas esquinas se ha utilizado la sentencia hole. La profundidad del agujero debe ser la misma que la altura de la capa 1,5mm. El diseño de estos agujeros, taladros, ha sido explicado en este mismo proyecto en el apartado reservado para la explicación de los diferentes sentencias necesarias para el diseño de los diodos.

Aparte de la forma de las esquinas, esta capa presenta otra peculiaridad. En la parte inferior del componente, está formado por dos agujeros pasantes, necesarios para poder sujetar mediante tornillos el diodo con la placa refrigerante o disipador térmico.

El diseño de los agujeros pasantes comienza estableciendo el lugar exacto en el que van a ser creados. Para ello, se debe seleccionar la cara superior, poniéndose ésta de un color azulado que indica que se ha seleccionado correctamente. Utilizando el apartado draw, se dibujan las líneas necesarias para calcular la posición correcta de estos agujeros. En este caso, la posición de los agujeros es a 2 mm desde el eje x y de 4,8 mm desde el eje y.

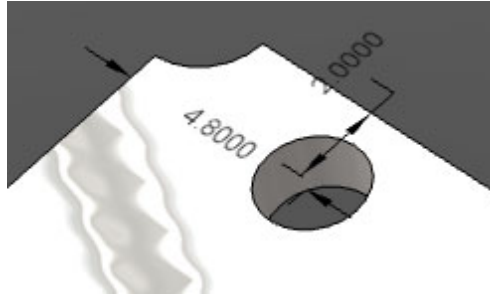


Figura 4.2.1.1.1 Medidas de los agujeros pasantes

Una vez que la las coordenadas de estos agujeros han sido establecidas, utilizando la opción Circle → Center-Radius Circle se crea un círculo cuyo radio es de 1,2 mm.

A continuación, se debe cortar los círculos dibujados. Para ello, la sentencia extrude da la opción de cortar (cut) la zona seleccionada con la profundidad que se establezca en el apartado limit, en este caso el valor establecido debe ser 1,5mm.

En el momento en el que la capa de aluminio ya ha sido diseñada y creado el volumen de la misma, se debe proporcionar un material que otorgue características térmicas a la capa.

El material elegido para este tipo de capa es aluminio.

Después del diseño y de la elección del material, la capa diseñada será:

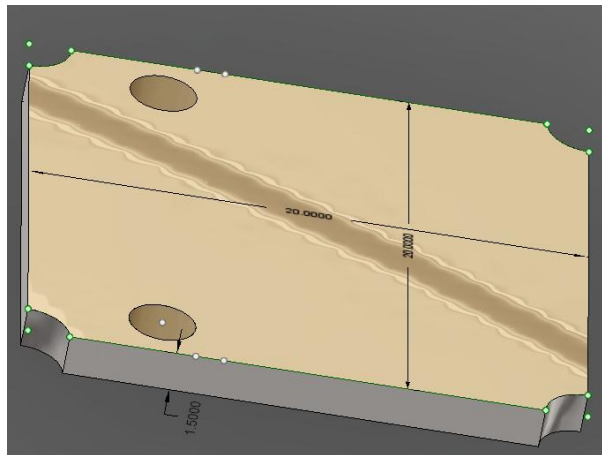


Figura 4.2.1.1.2 Capa de aluminio

4.2.1.2. Capa de aislante eléctrico

La segunda capa de la que está formado el diodo de potencia 10W es la capa de aislante eléctrico, como su nombre indica, la capa funciona de aislante entre la capa de aluminio y la capa de terminales.

La forma que presenta esta capa es en forma de cruz. Las medidas que tiene esta nueva capa es:

- Los extremos superior e inferior, paralelos al eje x, de la cruz son de 12 mm de ancho y 6,5 mm de largo.
- Los extremos de ambos lados de la cruz, perpendiculares al eje x, son de 4mm de ancho y 6 mm de largo.
- La distancia entre el extremo superior e inferior de la cruz, paralelos al eje x, es de 19mm.
- La distancia entre los extremos laterales, perpendiculares al eje x, es de 20mm.

El diseño de la capa comienza seleccionando la cara superior de la capa de aluminio (capa inferior), para poder dibujar la nueva forma que tiene esta capa. Es necesario que la cara seleccionada sea la cara superior para que, posteriormente, ambas capas estén unidas. La opción de diseño que se ha utilizado en este caso es Draw, de esta forma, se pueden dibujar todas las líneas necesarias para el diseño de la capa. Las líneas creadas se han unido entre ellas formando una figura en forma de cruz. Para que las esquinas interiores de la cruz tenga forma circular, se ha utilizado el comando fillet y el radio que se ha empleado es 0,50mm.

A continuación, se debe dar volumen a la capa, utilizando la sentencia extrude se da una altura de 50 μm .

El resultado final en el diseño de esta capa es:

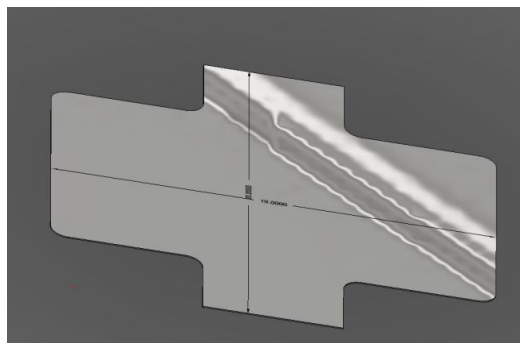


Figura 4.2.1.2.1 Capa de aislante eléctrico

4.2.1.3. Capa terminales.

Debido a que esta capa tiene la misma forma que la capa anterior, por lo que, no es necesario la utilización de los comandos de diseño que el programa proporciona. Ya que, seleccionando la cara superior de la capa aislante eléctrico, y utilizando la sentencia extrude, se crea una nueva capa con un grosor de 50µm.

Los terminales de esta capa, establecen la polaridad del diodo. Para poder dibujar y crear estos terminales, se debe seleccionar la cara superior de esta misma capa. A continuación, utilizando la sentencia sketch → Rectangle → Center rectangle se dibujan en los extremos más estrechos (6 mm) de la cruz el tamaño de los terminales 0,3 mm x 0,3 mm (0,09 mm²). Con la sentencia extrude, se eleva en una distancia de 1mm con la opción de join, de esta forma no se crea un nuevo componente sino, que ésta forma parte de la capa de terminales.

Las opciones seleccionadas para el diseño de los terminales son:

- Along distance: 1mm
- Direction: One Direction
- Boolean Options: Join

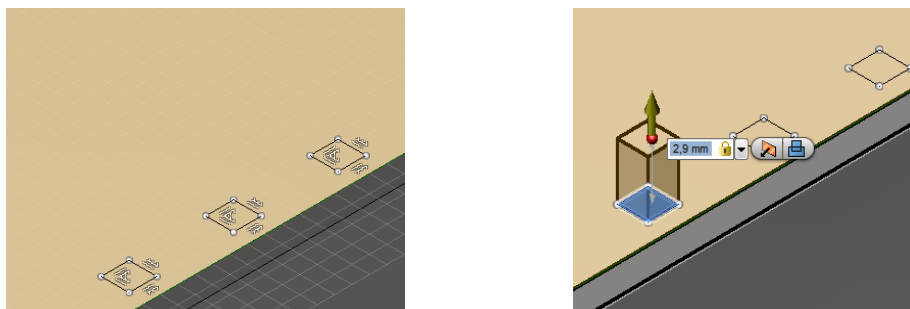


Figura 4.2.1.3.1 Diseño terminales

Los terminales tiene una parte que debe sobresalir de las capas de los diodos, para ello, en la nueva parte del terminal que se ha creado, se debe dibujar un rectángulo de 0,1 mm x 0,3 mm (0,03 mm²). Al igual que se ha hecho con la parte perpendicular de los terminales se debe utilizar la sentencia extrude con una distancia de 2,5mm y con la opción join para que la nueva parte diseñada forme parte de las patas de los terminales.

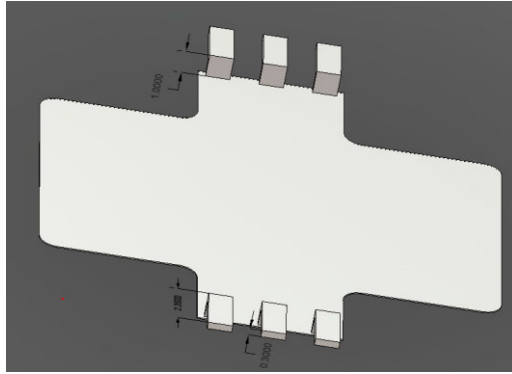


Figura 4.2.1.3.2 Capa terminales

4.2.1.4. Capa chips LEDs

La capa de chips LEDs, se ha diseñado considerando que los chips forman un único chip diseñado como un cubo cuyas dimensiones son:

- Altura: 0,2 mm
- Ancho: 8mm
- Largo: 8mm

Para realizar el diseño de esta capa, se debe seleccionar la cara superior de la capa de los terminales, y en la misma, con la sentencia Rectangle → Center rectangle, se realiza cuadrado de 8x8, medidos en milímetros, en la parte céntrica de la capa de terminales.

Al igual que se ha hecho con el resto de las capas, para dar volumen a la misma se debe utilizar la sentencia extrude con la opción de New component y con una distancia de 0,2mm.

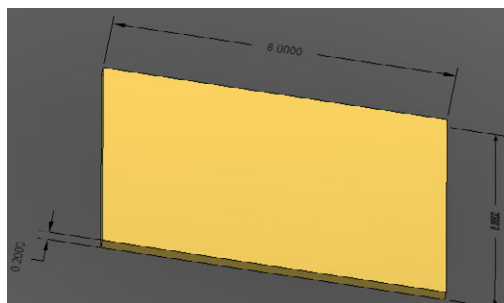


Figura 4.2.1.4.1 Capa chips

4.2.1.5. Capa superior

En el caso de la capa superior la morfología es la misma que la capa de terminales. Por ello, seleccionando la cara superior de la capa de terminales y utilizando la sentencia extrude se crea esta nueva capa.

Los datos seleccionados para ello son:

- Limit: 1,65 mm
- Direction: One Direction
- Boolean Options: New component.

La diferencia existente entre ambas capas es el hueco que esta capa presenta. Esta zona está reservada para poder colocar los chips (Capa de chips).

Para poder diseñar la parte hueca de la capa, se selecciona la cara superior de la nueva capa creada y con la opción Rectangle→ Center Rectangle, se crea un cubo cuuas medidas son 11 mm x 11mm (121 mm²). Una de las peculiaridades de este hueco es que las esquinas son circulares. Por lo que, utilizando la sentencia fillet se establecen como ángulo de dichas esquinas 0,50 mm. Una vez dibujado el rectángulo con las esquinas circulares se debe realizar el corte del mismo. Seleccionando esta zona y utilizando la sentencia extrude y la opción booleana cut, se establece que esta nueva parte diseñada sea cortada con una profundidad de 1,65mm.

Se consigue que la parte que anteriormente formaba un único cuerpo, haya sido cortada dejando en su lugar un hueco en el que posteriormente se creara una parte de resina.

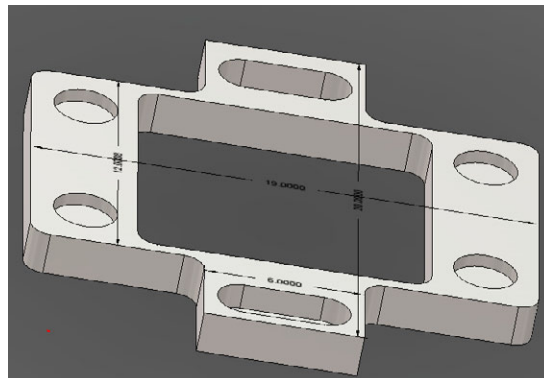


Figura 4.2.1.5.1 Capa superior

4.2.1.6. Capa de silicona transparente

La capa de silicona transparente, se ha creado partir de la parte que se ha cortado en la capa anterior.

Una vez que el hueco se ha creado en la capa superior, lo único que se debe realizar es seleccionar la parte hueca y con la sentencia extrude se crea el volumen de esta nueva capa.

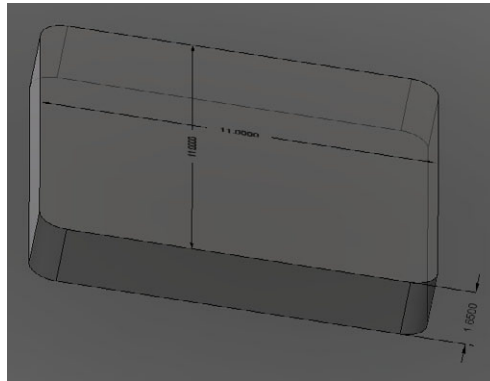


Figura 4.2.1.6.1 Capa silicona transparente

La medida de esta nueva capa son:

- Altura: 1,65 mm
- Ancho: 11 mm
- Largo: 11 mm

Diseño mecánico LED ultravioleta cercano (UVA)

4.3. Diseño diodo 3W

Por último, el diodo diseñado es el diodo de ultravioleta de 3W. Al igual que los anteriores diodos se ha utilizado el datasheet para saber las medidas que presentan este nuevo diodo.

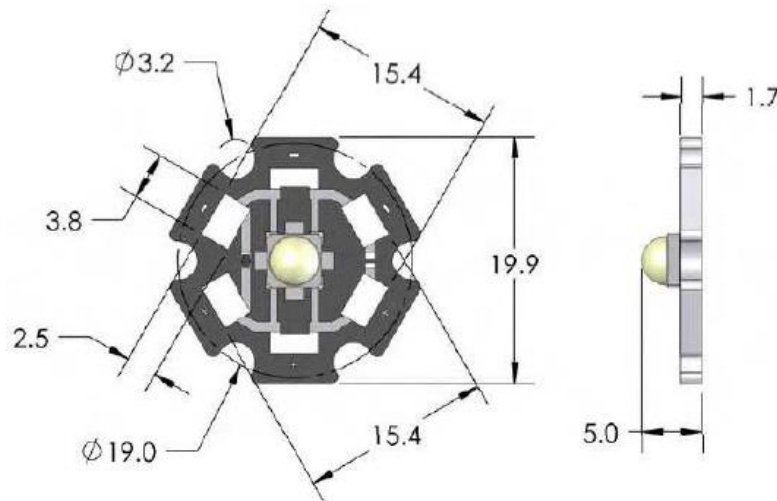


Figura 4.3.1 Medidas diodo de 3W

* Las medidas están en mm.

Una vez diseñado cada una de las capas del diodo en el programa Autodesk Inventor Fusion, el resultado del mismo es:

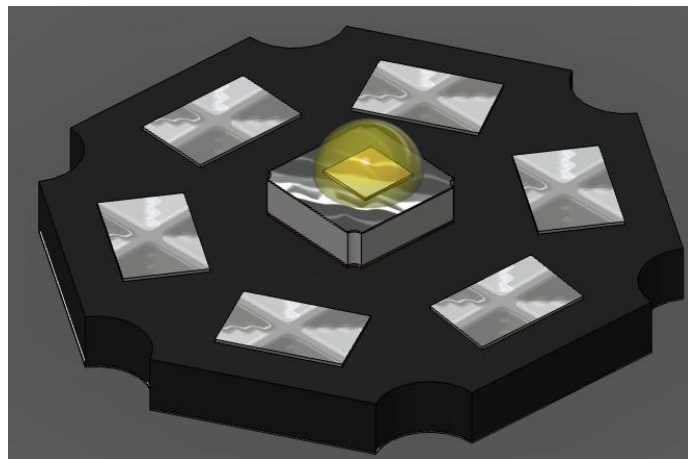
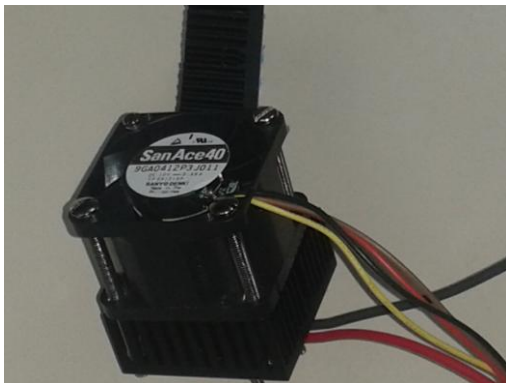


Figura 4.3.2 Diseño mecánico diodo de 3W

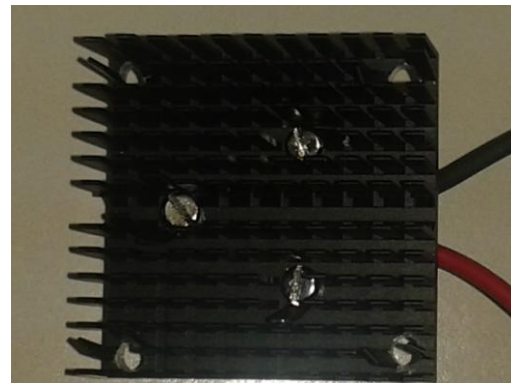
A continuación se muestra el LED que se ha utilizado para hacer las pruebas necesarias para la investigación llevada a cabo en la Tesis.



*Imagen obtenida de la Tesis de Francisco José Arques Orobon (F.J.A.O.)**



*Referencia: F.J.A.O.**



*Referencia: F.J.A.O.**

4.3.1. Diseño por capas

4.3.1.1. Capa inferior o capa de aluminio.

En el caso del diodo de ultravioleta de 3W, la superficie tiene forma de hexágono. En este caso, no se debe elegir la misma sentencia que se utilizaba en el diseño de los diodos anteriores. En el apartado sketch se debe seleccionar el icono Polygon, y de las opciones que nos muestra se debe elegir Inscribed polygon, de esta forma el polígono se dibuja en el exterior del círculo. Los datos que se deben programar son el número de lados que debe tener el polígono y el radio del círculo.

Una vez que se tiene el hexágono dibujado se le da volumen con la sentencia extrude y con un valor de 1,7mm.

Como podemos observar en el datasheet los lados del polígono no se unen formando una esquina sino que se han seccionado en forma de círculo. Utilizando la opción hole, se realizan los diferentes taladros en cada una de estas esquinas con un radio de 1,6mm.

El resultado de esta capa es:

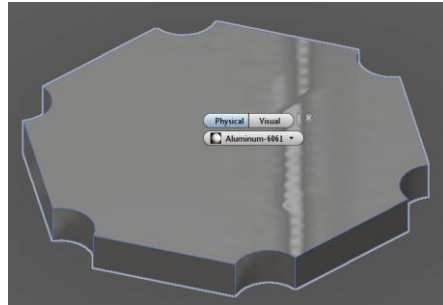


Figura 4.3.1.1.1 Capa de aluminio

4.3.1.2. Capa aislante térmico

Esta nueva capa, presenta la misma forma que la capa de aluminio. Por ello, seleccionando la cara superior de la capa de aluminio y seleccionando la sentencia extrude se crea esta nueva capa. El grosor que debe tener esta capa es 100µm.

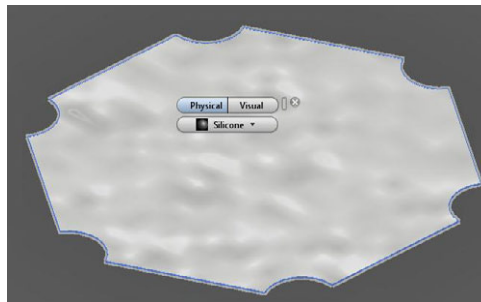


Figura 4.3.1.2.1 Capa aislante térmico

4.3.1.3. Capa chapas

En la capa aislante termico aparecen 6 chapas en forma rectangulares. Para poder dibujarlos se utiliza la sentencia Rectangle→Center Rectangle y se realiza un rectangulo de 2,5 mm de ancho y 3,8 mm de largo. Para darle volumen con la sentencia extrude se da un grosor de 50µm. Se colocan en cada uno de los lados del hexagono de la capa aislante termica.

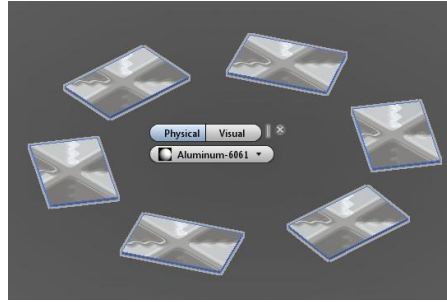


Figura 4.3.1.3.1 Capa chapas

4.3.1.4. Capas superiores

La parte superior del diodo ultravioleta esta formado por las siguientes capas:

- Capa de cobre
- Capa de estaño plomo
- Capa de alumina
- Capa de metalizado

Todas estas capas tienen la misma forma cuadrada pero cambia el grosor de cada una de ellas. En primer lugar seleccionando la cara superior de la capa aislante térmico y utilizando la opción Rectangle→Center Rectangle, se crea un cuadrado de 4 mm x 4 mm (16 mm²) y se coloca en la parte central del diodo. Con la sentencia extrude se va creando cada una de las capas con el siguiente grosor:

- Capa de cobre →50μm
- Capa de estaño plomo→50μm
- Capa de alumina→1,1 mm
- Capa de metalizado→ 100 μm

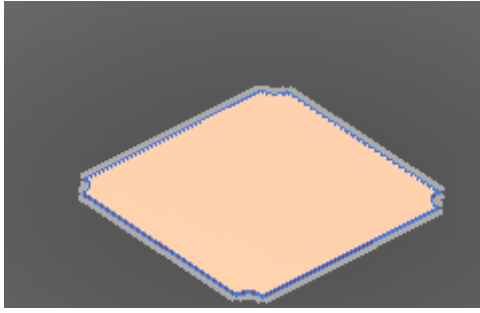


Figura 4.3.1.4.1 Capa Cobre

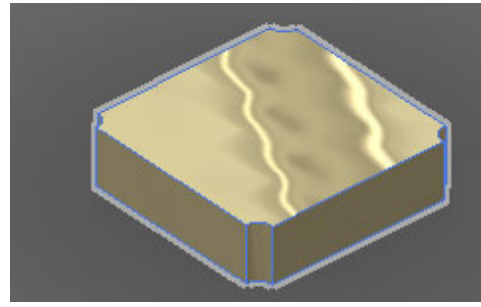


Figura 4.3.1.4.2 Capa alúmina

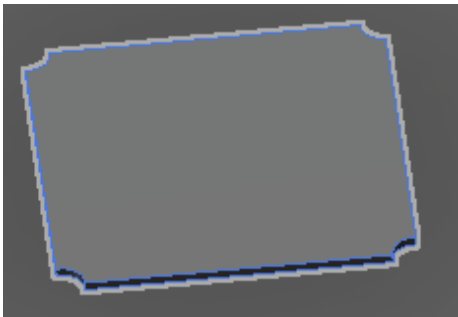


Figura 4.3.1.4.1 Capa metalizado

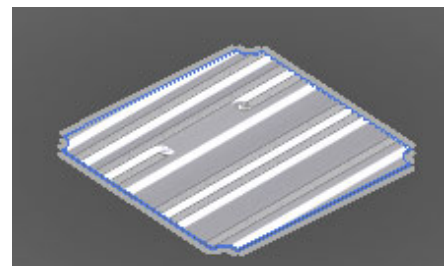


Figura 4.3.1.4.2 Capa estaño-plomo

4.3.1.5. Capa de chips

La capa de chips del diodo ultravioleta está situado justo encima de la capa metalizado. El tamaño de esta capa es un cuadrado de 1,8 mm x 1,8 mm (3,24 mm²). Con la sentencia extrude se da volumen a esta capa con un grosor de 100µm. Se coloca en la parte central de la capa metalizado.

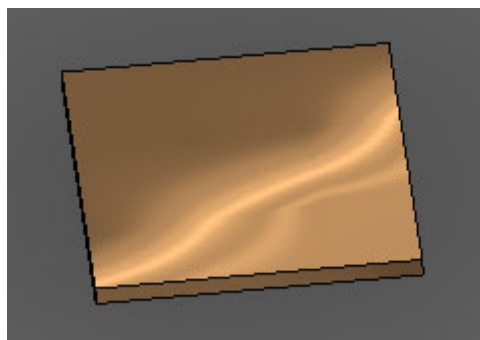


Figura 4.3.1.5.1 Capa de chips

4.3.1.6. Capa de lente

Este diodo presenta la característica de que en la parte superior del mismo la capa de chips está protegida por una lente esférica.

Para ello se utiliza la opción Sphere y se crea una esfera con un radio de 2,2 mm. Se coloca concéntrica a la capa de chips.



Figura 4.3.1.6.1 Capa de lente

Capítulo 5: Configuración y resultados de simulaciones térmicas del diodo blanco de 50W

5. Simulaciones térmicas del diodo blanco de 50W

Para realizar las simulaciones se han seguido 3 pasos: cálculo del coeficiente de convección térmico, elección de los materiales de cada una de las capas y por último cálculo de la potencia por unidad de volumen necesaria para calcular la generación térmica del chip. Por último se realizan las simulaciones.

5.1. Cálculo coeficiente de convección térmico

El coeficiente de convección térmico se calcula mediante el programa Thermal Wizard, mediante el valor de la altura y anchura de cada una de las caras que influyen en la convección, se calculará el valor del coeficiente de convección térmico (h).

Para el cálculo del coeficiente de convección térmica de cada cara se han fijado los siguientes valores:

Fluid Properties at Film Temperature, Except for Density. (Defaults are for Air at 20C)

Description	Symbol	Value	Units
Film Temperature = $(T_p + T_a)/2$	T_f	52.5	°C
Specific Heat	C_p	1007	J/kg·°C
Coefficient of Thermal Expansion	β	0.0034	1/K
Thermal Conductivity	k	0.0261	W/m·°C
Dynamic Viscosity	μ	0.0000185	kg/m·s
Density at reference temperature of 20 C	ρ_{ref}	1.201	kg/m³
Density calculated at film temperature T_f	ρ	1.08108	kg/m³
Emissivity	e	.85	None

- Superficie inferior del disipador: En este caso la opción elegida para el cálculo debe ser en horizontal.

Plate Dimensions

Description	Symbol	Value	Units
Plate Width (across flow)	W	0.09	Meters
Plate Height (with flow)	H	0.1	Meters
Plate Temperature	T_p	140	°C
Ambient Temperature	T_a	25	°C
Results			

Results for Plate

Description	Symbol	Value	Units
Prandtl Number = w/a	Pr	0.713774	None
Grashof Number = $g*cte*(T_p-T_a)*H^3/\nu^2$	Gr	3.12927E+6	None
Rayleigh Number = $Gr*Pr$	Ra	2.23359E+6	None
Nusselt = $0.68+0.67*Ra^{0.25}/[1+(0.492/Pr)^{9/16}]^{4/9}$	Nu	20.572	None
Average Heat Transfer Coefficient = $Nu*k/H$	h	5.3693	W/m ² -C
Convective HeatTransfer = $h*W*H*(T_p-T_a)$	q _{conv}	1.20809	W
Radiative Heat Transfer = $Sigma*W*H*e*(T_p^4-T_a^4)$	q _{rad}	1.3024	W
Total Heat Transfer = $q_{conv} + q_{rad}$	q _{tot}	2.51049	W

- Superficie superior del disipador: Al igual que en el caso anterior se debe seleccionar el cálculo con la superficie en horizontal.

Plate Dimensions

Description	Symbol	Value	Units
Plate Width (across flow)	W	0.065	Meters
Plate Height (with flow)	H	0.09	Meters
Plate Temperature	T _p	140	°C
Ambient Temperature	T _a	25	°C

Results

Results for Plate

Description	Symbol	Value	Units
Prandtl Number = w/a	Pr	0.713774	None
Grashof Number = $g*cte*(T_p-T_a)*((W*L)/(2W+2L))^3/\nu^2$	Gr	73.795E+3	None
Rayleigh Number = $Gr*Pr$	Ra	52.6729E+3	None
Nusselt Number = $0.54*(Gr*Pr)^{0.25}$	Nu	8.1807	None
Average Heat Transfer Coefficient = $Nu*k/((W*L)/(2W+2L))$	h	11.3145	W/m ² -C
Convective Heat Transfer = $h*W*L*(T_p-T_a)$	q _{conv}	7.61196	W
Radiative Heat Transfer = $Sigma*W*L*e*(T_p^4-T_a^4)$	q _{rad}	5.98773	W
Total Heat Transfer = $q_{conv} + q_{rad}$	q _{tot}	13.5996	W

- Superficie superior diodo: la opción elegida es Horizontal plate.

Plate Dimensions

Description	Symbol	Value	Units
Plate Width	W	0.06	Meters
Plate Length	L	0.06	Meters
Plate Temperature	T _p	140	°C
Ambient Temperature	T _a	25	°C

Results

Results for Plate

Description	Symbol	Value	Units
Prandtl Number = w/a	Pr	0.713774	None
Grashof Number = $g \cdot \text{cte} \cdot (T_p - T_a) \cdot (W \cdot L) / (2W + 2L)^3 / \nu^2$	Gr	37.0611E+3	None
Rayleigh Number = $Gr \cdot Pr$	Ra	26.4532E+3	None
Nusselt Number = $0.54 \cdot (Gr \cdot Pr)^{0.25}$	Nu	6.88674	None
Average Heat Transfer Coefficient = $Nu \cdot k / ((W \cdot L) / (2W + 2L))$	h	11.9829	W/m ² -C
Convective Heat Transfer = $h \cdot W \cdot L \cdot (T_p - T_a)$	q _{conv}	4.96093	W
Radiative Heat Transfer = $\text{Sigma} \cdot W \cdot L \cdot e \cdot (T_p^4 - T_a^4)$	q _{rad}	3.68476	W
Total Heat Transfer = $q_{\text{conv}} + q_{\text{rad}}$	q _{tot}	8.64569	W

- Superficies verticales del diodo: en estos casos, la opción de cálculo elegida debe ser vertical.

Plate Dimensions

Description	Symbol	Value	Units
Plate Width (across flow)	W	0.06	Meters
Plate Height (with flow)	H	0.002	Meters
Plate Temperature	T _p	140	°C
Ambient Temperature	T _a	25	°C
Results			

Results for Plate

Description	Symbol	Value	Units
Prandtl Number = w/a	Pr	0.713774	None
Grashof Number = $g \cdot \text{cte} \cdot (T_p - T_a) \cdot H^3 / \nu^2$	Gr	87.8485	None
Rayleigh Number = $Gr \cdot Pr$	Ra	62.704	None
Nusselt = $0.68 + 0.67 \cdot Ra^{0.25} / [1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{4/9}$	Nu	2.12794	None
Average Heat Transfer Coefficient = $Nu \cdot k / H$	h	27.7697	W/m ² -C
Convective Heat Transfer = $h \cdot W \cdot H \cdot (T_p - T_a)$	q _{conv}	0.383222	W
Radiative Heat Transfer = $\text{Sigma} \cdot W \cdot H \cdot e \cdot (T_p^4 - T_a^4)$	q _{rad}	0.122825	W
Total Heat Transfer = $q_{\text{conv}} + q_{\text{rad}}$	q _{tot}	0.506047	W

5.2. Elección de los materiales de las capas

A continuación se va a elegir los materiales de cada una de las capas del diodo de 50W:

Part ID	Part Name	Element type	Material Name
1	Parte inferior. Alum:1	Thermal Brick	Aluminum 6063-T6
2	Aislante eléctrico conductor termico:1	Thermal Brick	CoorsTek Alumina, AD-85 (nom. 85% Al2O3)
3	Superficie superior. Resina:1	Thermal Brick	CoorsTek Alumina, AD-85 (nom. 85% Al2O3)
4	Chips leds:1	Thermal Brick	Silicon, Si
5	Silicona transparente:1	Thermal Brick	Anocast Silica-filled Epoxy Polymer Composite
6	Disipador aluminion:1	Thermal Brick	Aluminum 6063-T6

La elección de estos materiales se debe a las siguientes características:

Aluminum 6063-T6 -Thermal Brick	
Material Model	Isotropic
Mass Density	$2000000000000 \text{ kg/m}^3$
Thermal Conductivity	$0 \left(\text{J/(s} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C)} \right)$
Specific Heat	$900 \left(\text{J/(kg}^\circ\text{C)} \right)$

CoorsTek Alumina, AD-85 (nom. 85% Al2O3) - Thermal Brick	
Material Model	Isotropic
Mass Density	$3000000000000 \text{ kg/m}^3$
Thermal Conductivity	$0 \left(\text{J/(s} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C)} \right)$
Specific Heat	$0 \left(\text{J/(kg}^\circ\text{C)} \right)$

Silicon, Si -Thermal Brick	
Material Model	Isotropic
Mass Density	$2000000000000 \text{ kg/m}^3$
Thermal Conductivity	$0 \left(\text{J/(s} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C)} \right)$
Specific Heat	$702 \left(\text{J/(kg}^\circ\text{C)} \right)$

Anocast Silica-filled Epoxy Polymer Composite - Thermal Brick	
Material Model	Isotropic
Mass Density	2000000000000 kg/m^3
Thermal Conductivity	0 $(\text{J}/(\text{s} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}))$
Specific Heat	0 $(\text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}))$

5.3. Cálculo de la potencia por unidad de volumen.

Teniendo en cuenta el tamaño del chip, las medidas realizadas en el laboratorio y el rendimiento óptico obtenido del Datasheet, se ha realizado el cálculo de la potencia por unidad de volumen:

Valores iniciales						
Alto(mm)	Ancho(mm)	Largo (mm)	Volumen (mm^3)	(A)	(V)	(W)
0,2	25	27	135	1,75	26,3	46,025

Dónde:

: Corriente inicial.

: Tensión inicial.

: Potencia inicial.

A continuación, se debe esperar a que el diodo alcance su estabilidad. Los datos obtenidos son:

Valores finales						
(A)	(V)	(W)	Rendimiento óptico (%)	(W)	P por unidad de volumen	P por unidad volumen
1,75	24,44	42,77	45	23,5235	0,174248148	174248148

Donde:

P por unidad de volumen =

P por unidad volumen = P por unidad de volumen $\cdot 10^9$

El valor de Generacion térmica que se debe establecer en el caso del diodo de 50W es de 174248148

5.4. Simulaciones térmicas del diodo de 50W

Una vez que se han establecido cada uno de los coeficientes mencionados anteriormente, se realiza la simulación. A continuación se muestran los resultados obtenidos:

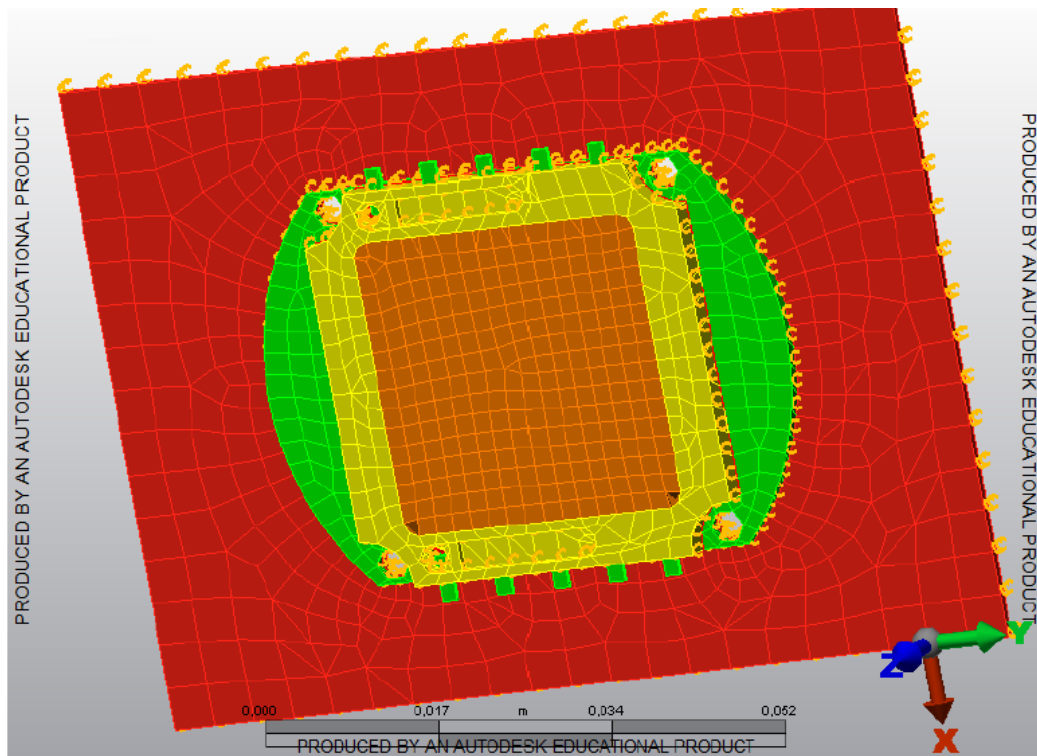
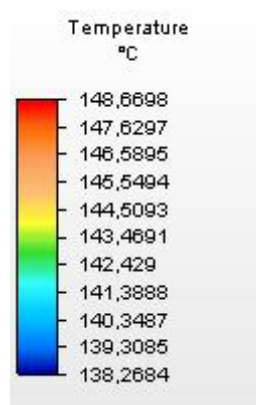


Figura 5.4.1 Diodo blanco de alta potencia de 50W antes de realizar las simulaciones.

La variedad de temperatura que se ha obtenido en cada una de las simulaciones es:



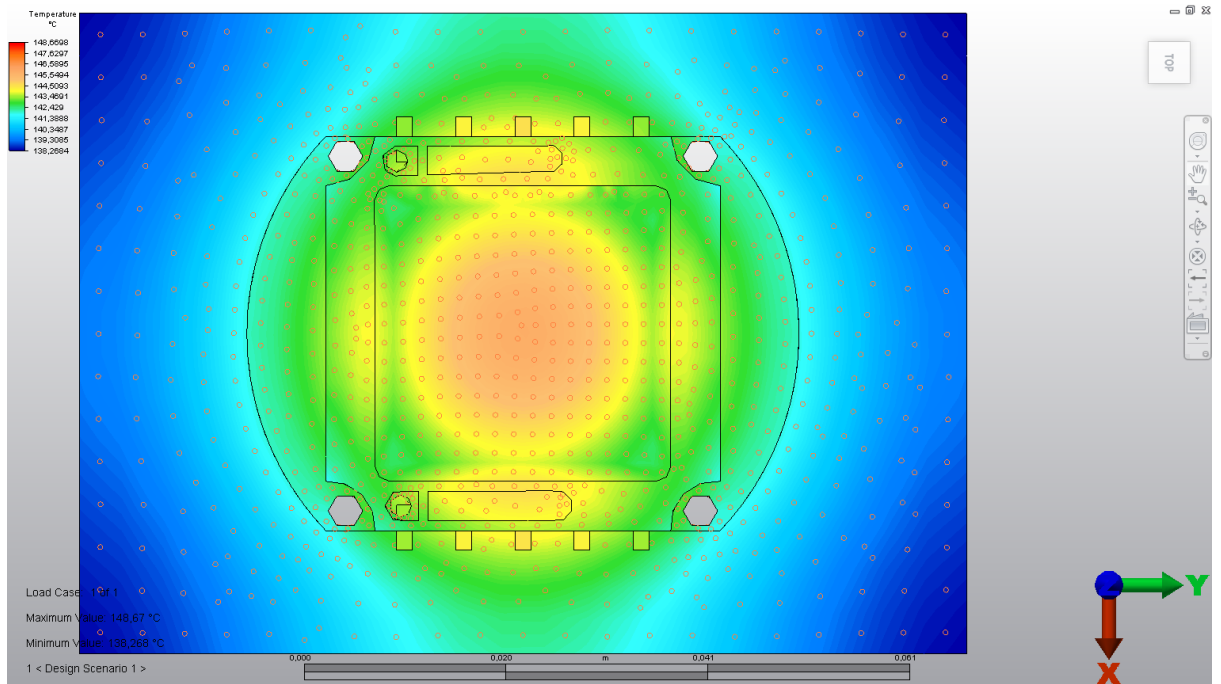


Figura 5.4.2 Vista de la parte superior del diodo de 50W

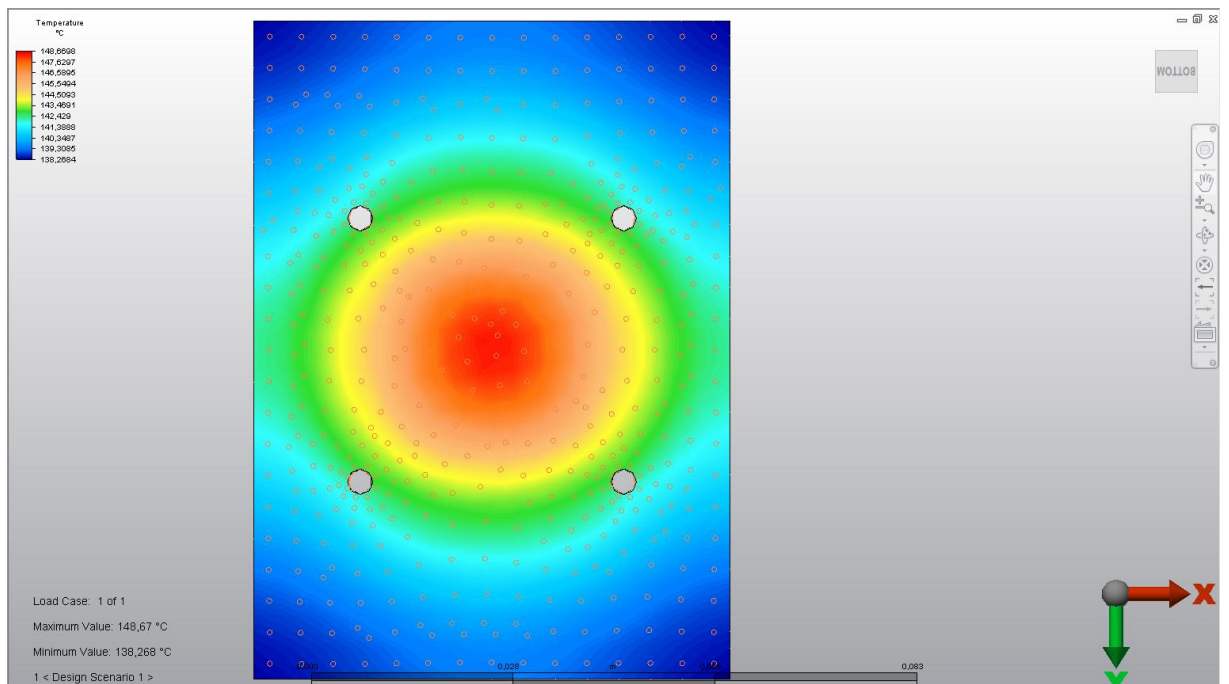


Figura 5.4.3 Vista de la parte inferior del diodo de 50W

Utilizando un plano imaginario en los ejes XZ se puede visualizar la diferencia térmica en el interior del diodo.

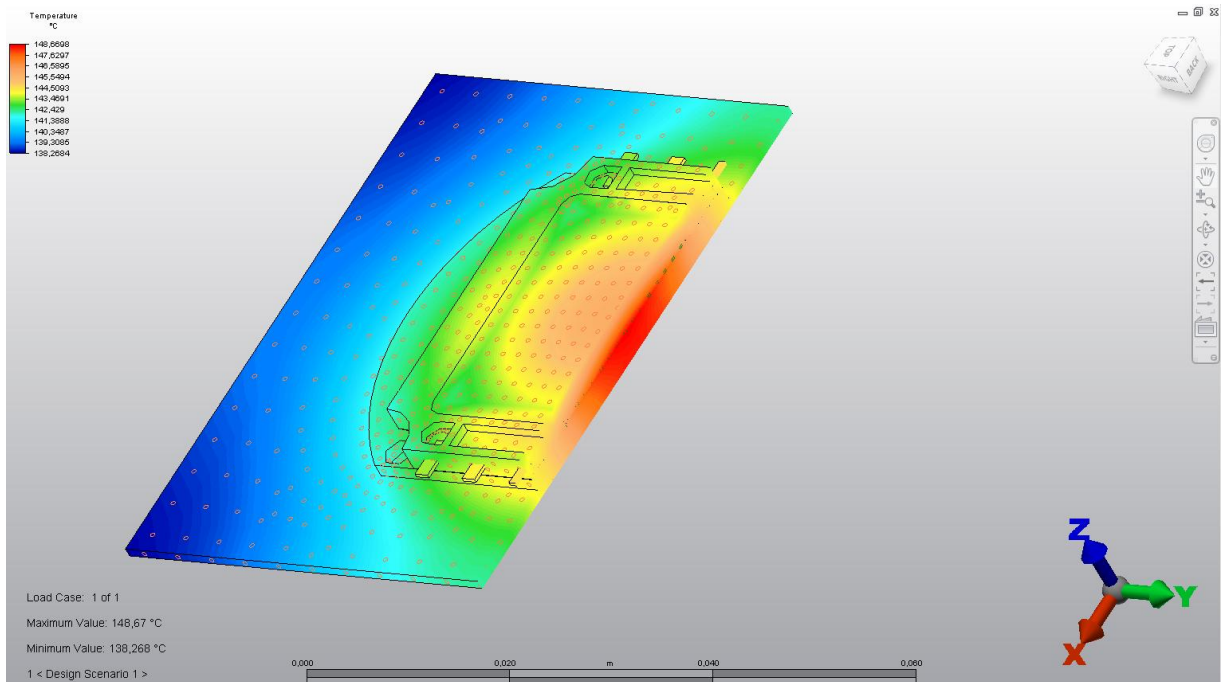


Figura 5.4.4 Ilustración de la variedad térmica en el diodo de 50W

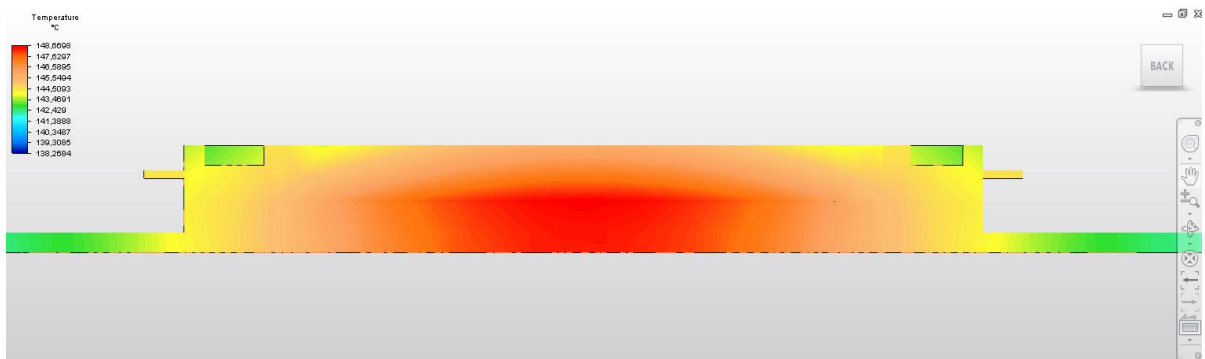


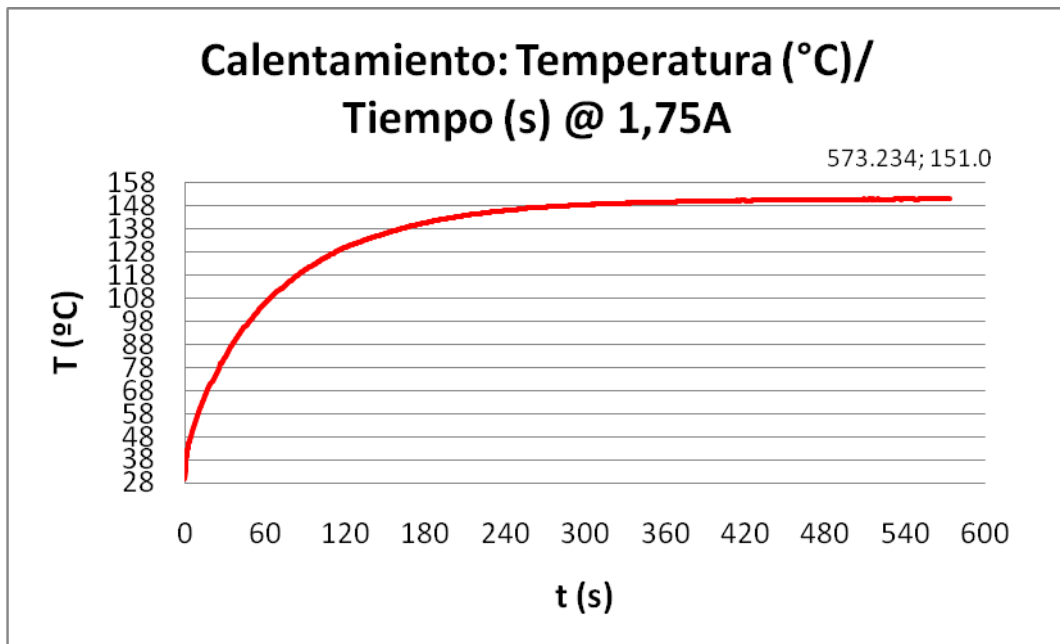
Figura 5.4.5 Ilustración de la variedad térmica en el chip y alrededor del mismo

5.5. Conclusiones y comparativa entre los resultados de las simulaciones térmicas y las medidas obtenidas físicamente

Según los valores tomados en el laboratorio y utilizados en otro PFC Pablo Cano Milán, sobre caracterización eléctrica y térmica de LEDs blancos para luminarias, la temperatura máxima que alcanza este diodo es de 151°.

A continuación se muestra una grafica en la que se puede observar la evolución que muestra este diodo, hasta alcanzar la zona estable del mismo.

El tiempo que tarda el diodo en alcanzar una temperatura máxima de 151°C es de 573,234 s (9 min).



Comparando este valor con los obtenidos en las simulaciones mediante los valores son aproximadamente iguales con un margen de error de 1,3% aproximadamente. Por tanto, podemos afirmar, que los resultados obtenidos tanto mediante las simulaciones térmicas realizadas en el programa software, como las medidas realizadas en el laboratorio, son correctas.

Capítulo 6: Configuración y resultados de simulaciones térmicas del diodo blanco de 10W

6. Simulaciones térmicas del diodo blanco de 10W

Para realizar las simulaciones se han seguido 3 pasos: cálculo del coeficiente de convección térmico, elección de los materiales de cada una de las capas y por ultimo cálculo de la potencia por unidad de volumen necesaria para calcular la generación térmica del chip. Por último se realizan las simulaciones.

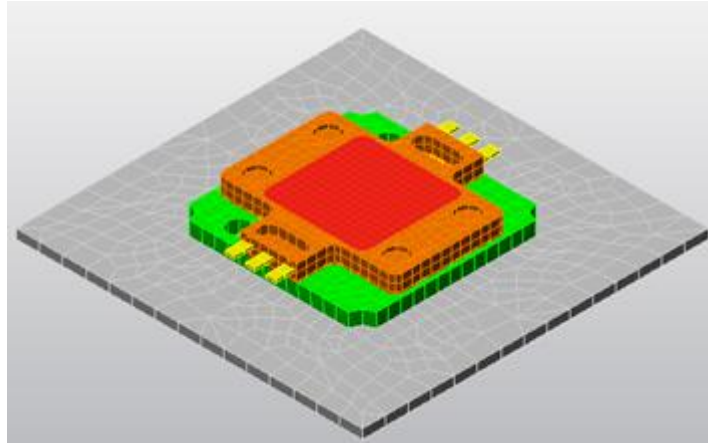


Figura 6.1 Diodo de 10W con el dissipador

6.1. Cálculo coeficiente de convección térmico

El coeficiente de convección térmico se calcula mediante el programa Thermal Wizard, mediante el valor de la altura y anchura de cada una de las caras que influyen en la convección, se calcular el valor del coeficiente de convección térmico (h).

En cada uno de los cálculos de los coeficientes se ha fijado el mismo valor en los siguientes datos:

Fluid Properties at Film Temperature, Except for Density. (Defaults are for Air at 20C)

Description	Symbol	Value	Units
Film Temperature = $(T_p + T_a)/2$	T_f	52.5	°C
Specific Heat	C_p	1007	J/kg-°C
Coefficient of Thermal Expansion	B	0.0034	1/K
Thermal Conductivity	k	0.0261	W/m-°C
Dynamic Viscosity	μ	0.0000185	kg/m-s
Density at reference temperature of 20 C	ρ_{ref}	1.201	kg/m ³
Density calculated at film temperature T_f	ρ	1.08108	kg/m ³
Emissivity	e	.85	None

En cambio, para cada uno de los casos se han ido modificando el tamaño de cada una de las superficies para particularizarlo para cada caso.

Superficies verticales del disipador: En este caso la opción elegida para el cálculo debe ser Vertical Plate.

Plate Dimensions

Description	Symbol	Value	Units
Plate Width (across flow)	W	0.1	Meters
Plate Height (with flow)	H	0.001	Meters
Plate Temperature	T_p	80	°C
Ambient Temperature	T_a	25	°C
Results			

Results for Plate

Description	Symbol	Value	Units
Prandlt Number = ν/a	Pr	0.713774	None
Grashof Number = $g \cdot \text{cte} \cdot (T_p - T_a) \cdot H^3 / \nu^2$	Gr	6.2645	None
Rayleigh Number = $Gr \cdot Pr$	Ra	4.47144	None
Nusselt = $0.68 + 0.67 \cdot Ra^{0.25} / [1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{4/9}$	Nu	1.42824	None
Average Heat Transfer Coefficient = $Nu \cdot k/H$	h	37.277	W/m ² -C
Convective HeatTransfer = $h \cdot W \cdot H \cdot (T_p - T_a)$	q_{conv}	0.285024	W
Radiative Heat Transfer = $\text{Sigma} \cdot W \cdot H \cdot e \cdot (T_p^4 - T_a^4)$	q_{rad}	0.036879	W
Total Heat Transfer = $q_{\text{conv}} + q_{\text{rad}}$	q_{tot}	0.241903	W

- Superficies verticales del chip y la resina: Al igual que en el caso anterior se debe seleccionar el cálculo con la superficie en Vertical Plate.

Plate Dimensions

Description	Symbol	Value	Units
Plate Width (across flow)	W	0.1	Meters
Plate Height (with flow)	H	0.0015	Meters
Plate Temperature	T_p	80	°C
Ambient Temperature	T_a	25	°C
Results			

Results for Plate

Description	Symbol	Value	Units
Prandtl Number = ν/α	Pr	0.713774	None
Grashof Number = $g \cdot \text{cte} \cdot (T_p - T_a) \cdot H^3 / \nu^2$	Gr	21.1427	None
Rayleigh Number = $Gr \cdot Pr$	Ra	15.0911	None
Nusselt = $0.68 + 0.67 \cdot Ra^{0.25} / [1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{4/9}$	Nu	1.69416	None
Average Heat Transfer Coefficient = $Nu \cdot k / H$	h	29.4785	W/m ² -C
Convective Heat Transfer = $h \cdot W \cdot H \cdot (T_p - T_a)$	q _{conv}	0.243197	W
Radiative Heat Transfer = $\text{Sigma} \cdot W \cdot H \cdot e \cdot (T_p^4 - T_a^4)$	q _{rad}	0.0553185	W
Total Heat Transfer = $q_{\text{conv}} + q_{\text{rad}}$	q _{tot}	0.298516	W

- Superficie horizontal superior diodo: en este caso se debe seleccionar la opción Horizontal Plate.

Results for Plate

Description	Symbol	Value	Units
Prandtl Number = ν/α	Pr	0.713774	None
Grashof Number = $g \cdot \text{cte} \cdot (T_p - T_a) \cdot H^3 / \nu^2$	Gr	3.12927E+6	None
Rayleigh Number = $Gr \cdot Pr$	Ra	2.23359E+6	None
Nusselt = $0.68 + 0.67 \cdot Ra^{0.25} / [1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{4/9}$	Nu	89.572	None
Average Heat Transfer Coefficient = $Nu \cdot k / H$	h	5.3693	W/m ² -C
Convective Heat Transfer = $h \cdot W \cdot H \cdot (T_p - T_a)$	q _{conv}	1.20003	W
Radiative Heat Transfer = $\text{Sigma} \cdot W \cdot H \cdot e \cdot (T_p^4 - T_a^4)$	q _{rad}	1.3024	W
Total Heat Transfer = $q_{\text{conv}} + q_{\text{rad}}$	q _{tot}	2.51049	W

- Superficies verticales del diodo: en estos casos, la opción de cálculo elegida debe ser vertical.

Results for Plate

Description	Symbol	Value	Units
Prandtl Number = ν/α	Pr	0.713774	None
Grashof Number = $g \cdot \text{cte} \cdot (T_p - T_a) \cdot (W \cdot L) / (2W + 2L)^3 / \nu^2$	Gr	37.1951E+3	None
Rayleigh Number = $Gr \cdot Pr$	Ra	26.5489E+3	None
Nusselt Number = $0.54 \cdot (Gr \cdot Pr)^{0.25}$	Nu	6.89296	None
Average Heat Transfer Coefficient = $Nu \cdot k / ((W \cdot L) / (2W + 2L))$	h	10.2804	W/m ² -C
Convective Heat Transfer = $h \cdot W \cdot L \cdot (T_p - T_a)$	q _{conv}	3.02242	W
Radiative Heat Transfer = $\text{Sigma} \cdot W \cdot L \cdot e \cdot (T_p^4 - T_a^4)$	q _{rad}	1.92912	W
Total Heat Transfer = $q_{\text{conv}} + q_{\text{rad}}$	q _{tot}	4.95154	W

6.2. Elección de los materiales de las capas

Otro de los factores fundamentales a la hora de realizar la simulación térmica es la elección de los diferentes materiales que componen cada capa, teniendo en cuenta la conductividad térmica de cada uno de los materiales elegidos. En el caso del diodo blanco de alta potencia de 10W, los materiales elegidos son:

Part ID	Part Name	Element type	Material Name
1	Capa de aluminio:1	Thermal Brick	Aluminum 6063-T6
2	Aislante electrico:1	Thermal Brick	Corning Vycorr 7950 Red Glass
3	Terminal base:1	Thermal Brick	Aluminum 6063-T6
4	Chips LED:1	Thermal Brick	Silicon, Si
5	ResuBablc:1	Thermal Brick	CoorsTek Alumina, AD-85 (nom. 85% Al ₂ O ₃)
6	Silicona transparente12:1	Thermal Brick	Anocast Silica-filled Epoxy Polymer Composite
7	disipador alum:1	Thermal Brick	Aluminum 6063-T6

La elección de estos materiales se debe a las siguientes características:

Aluminum 6063-T6 -Thermal Brick	
Material Model	Isotropic
Mass Density	$2000000000000 \text{ kg/m}^3$
Thermal Conductivity	$0 \left(\frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$
Specific Heat	$900 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$

Corning Vycorr 7950 Red Glass	
Material Model	Isotropic
Mass Density	$2000000000000 \text{ kg/m}^3$
Thermal Conductivity	$0 \left(\frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$
Specific Heat	$0 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$

Silicon, Si -Thermal Brick	
Material Model	Isotropic
Mass Density	$2000000000000 \text{ kg/m}^3$
Thermal Conductivity	$0 \left(\frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$
Specific Heat	$702 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$

CoorsTek Alumina, AD-85 (nom. 85% Al ₂ O ₃) - Thermal Brick	
Material Model	Isotropic
Mass Density	$3000000000000 \text{ kg/m}^3$
Thermal Conductivity	$0 \left(\frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$
Specific Heat	$0 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$

Anocast Silica-filled Epoxy Polymer Composite - Thermal Brick	
Material Model	Isotropic
Mass Density	$2000000000000 \text{ kg/m}^3$
Thermal Conductivity	$0 \left(\frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$
Specific Heat	$0 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$

6.3. Cálculo de la potencia por unidad de volumen.

Teniendo en cuenta el tamaño del chip, las medidas realizadas en el laboratorio y el rendimiento óptico obtenido del datasheet, se ha realizado el cálculo de la potencia por unidad de volumen:

Valores iniciales						
Alto(mm)	Ancho(mm)	Largo (mm)	Volumen (mm ³)	(A)	(V)	(W)
0,2	8	8	12,8	0,7	14,2	9,94

Dónde:

: Corriente inicial.

: Tensión inicial.

: Potencia inicial.

A continuación, se debe esperar a que el diodo alcance su estabilidad. Los datos obtenidos son:

Valores finales						
(A)	(V)	(W)	Rendimiento óptico (%)	(W)	P por unidad de volumen	P por unidad de volumen
0,7	13,2	9,24	0,45	5,08	0,396903161	396903161

Donde:

P por unidad de volumen =

P por unidad volumen = P por unidad de volumen $\cdot 10^9$

El valor de Generación térmica que se debe establecer en el caso del diodo de 10W es de 396903161

6.4. Simulaciones térmicas del diodo blanco de 10W

Una vez que se han establecido cada uno de los coeficientes mencionados anteriormente, se realiza la simulación. A continuación se muestran los resultados obtenidos:

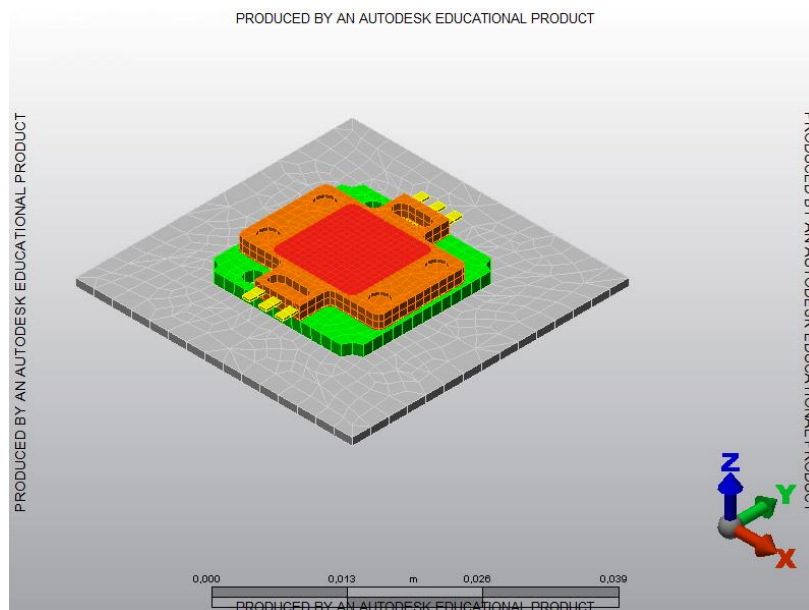


Figura 6.4.1 Diodo blanco de alta potencia de 10W antes de realizar las simulaciones.

La variedad de temperatura que se ha obtenido en cada una de las simulaciones es:

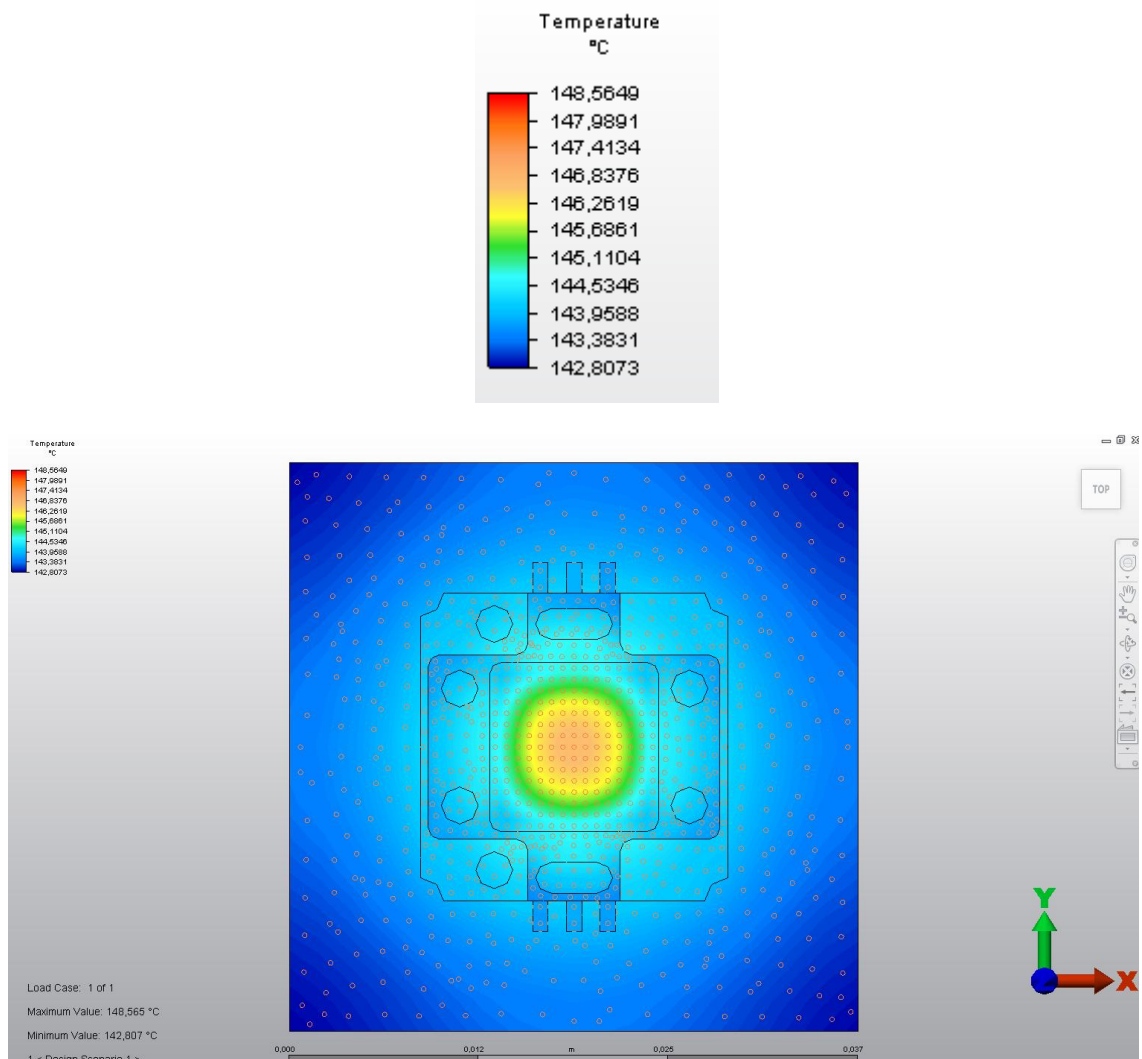


Figura 6.4.2 Vista de la parte superior del diodo de 10W

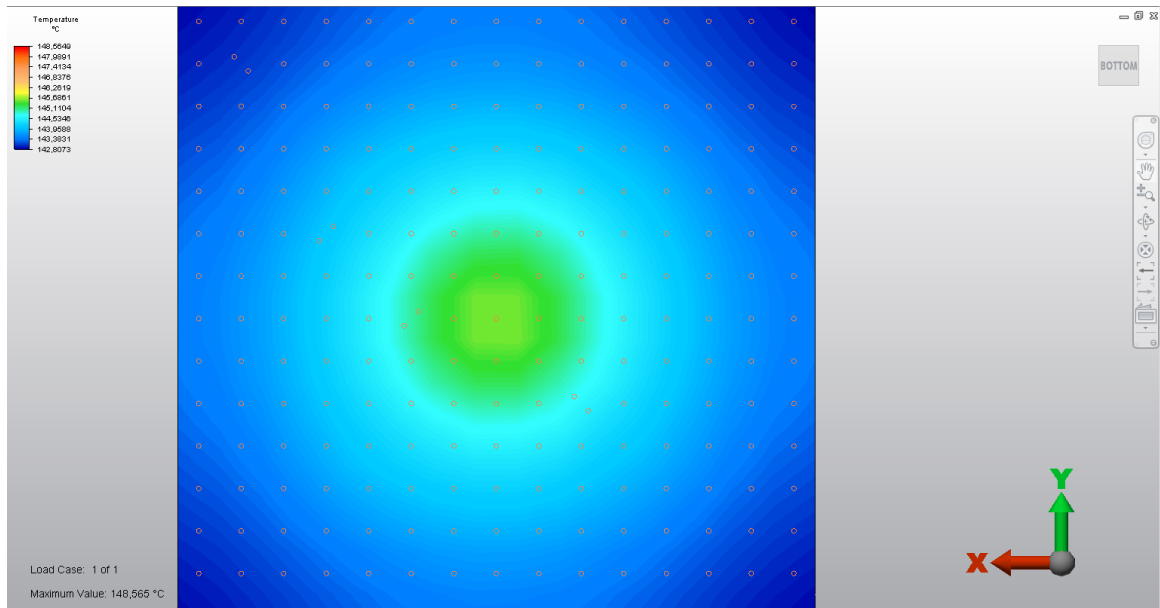


Figura 6.4.3 Vista de la parte inferior del diodo de 10W

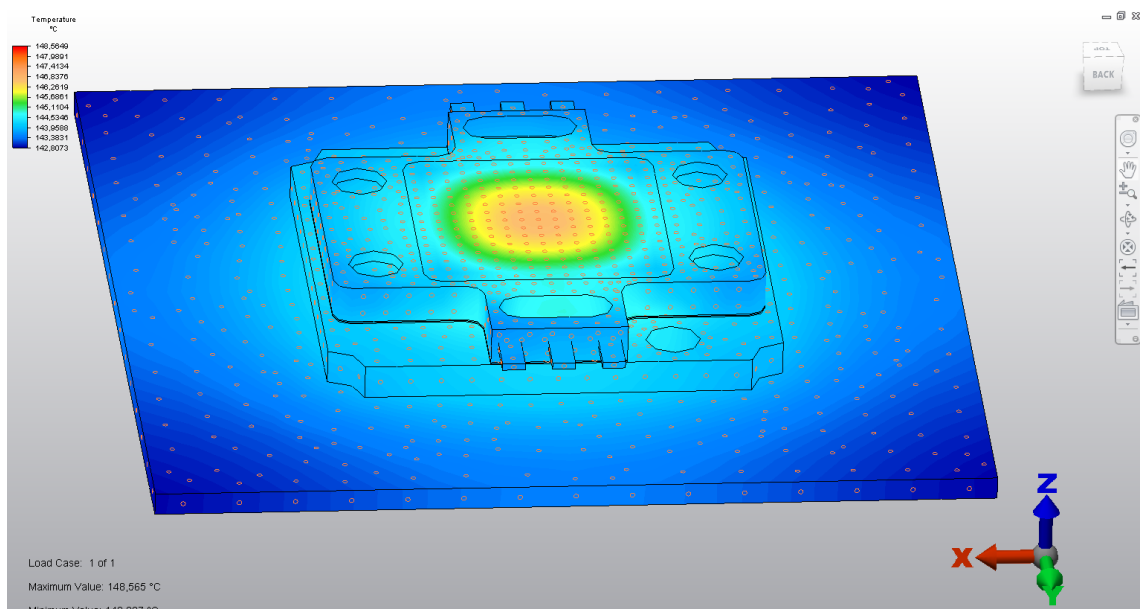


Figura 6.4.4 Vista isométrica del diodo de 10W

El programa permite que, mediante un plano imaginario, haga una intersección del diseño realizado para que se pueda visualizar la variedad de temperatura en el interior del mismo:

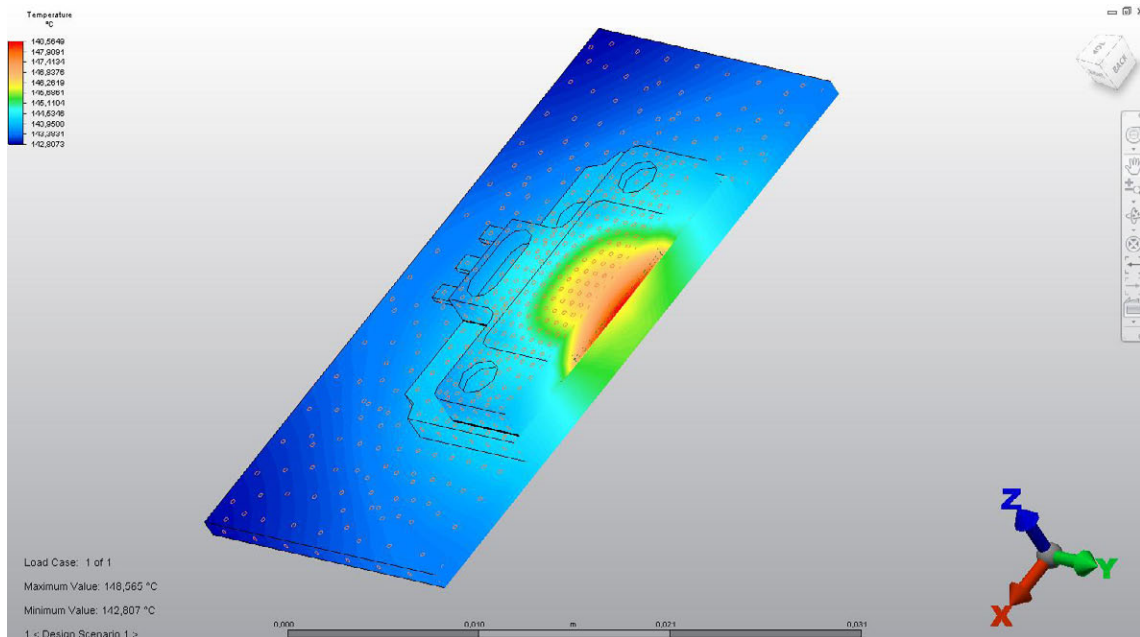


Figura 6.4.5 Ilustración de la variedad térmica en el diodo de 10W

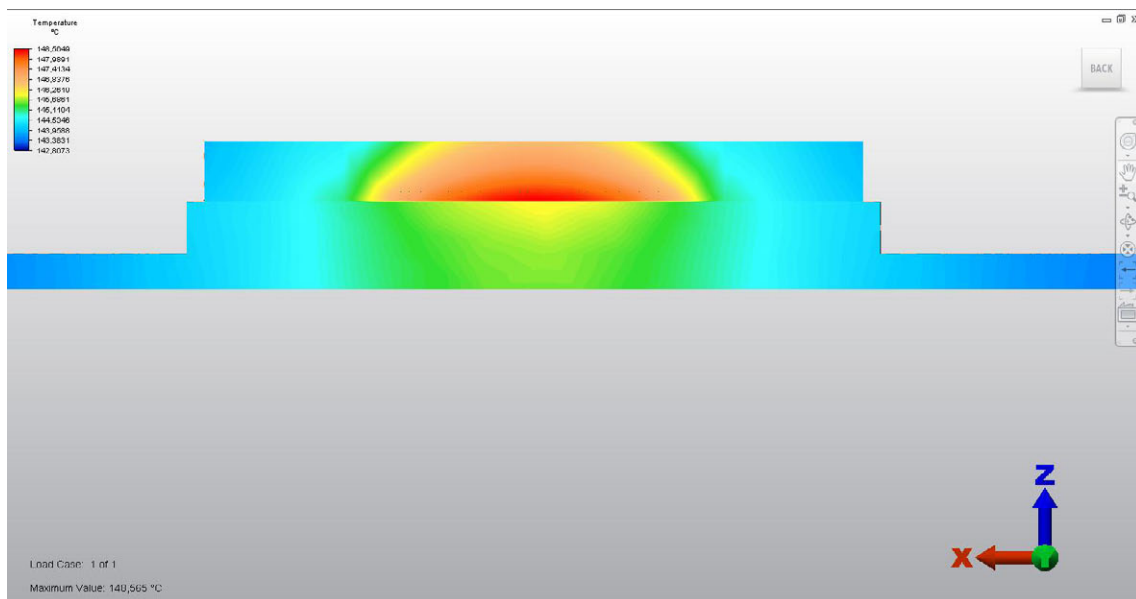


Figura 6.4.6 Ilustración de la variedad térmica en el chip y alrededor del mismo

6.1. Conclusiones y comparativa entre los resultados de las simulaciones térmicas y las medidas obtenidas físicamente

En el caso del diodo blanco de 10W, no disponemos de ningún valor al que compararlo. Debido a que no se han realizados las medidas térmicas en el laboratorio, ya que el autor del otro PFC, Pablo Cano Milán, le ha sido imposible realizarlas.

Por ello, debemos considerar que las simulaciones térmicas realizadas son correctas, aunque es solo una suposición.

Capítulo 7: Configuración y resultados de simulaciones térmicas del diodo ultravioleta de 3W

7. Simulaciones térmicas del diodo ultravioleta de 3W

En el caso del diodo ultravioleta de alta potencia de 3W, se han realizado cuatro simulaciones diferentes.

Se han utilizado dos tipos de disipadores; uno de ellos es un disipador de plancha de aluminio plano con un tamaño de 40 mm de largo por 40 mm de ancho y una altura de 5 mm (8000 mm^3), y el otro es un disipador de aluminio con aletas que tiene mejor nivel de transferencia de calor al aire, debido a que el área en contacto es mucho al sumar el área de todas las aletas.

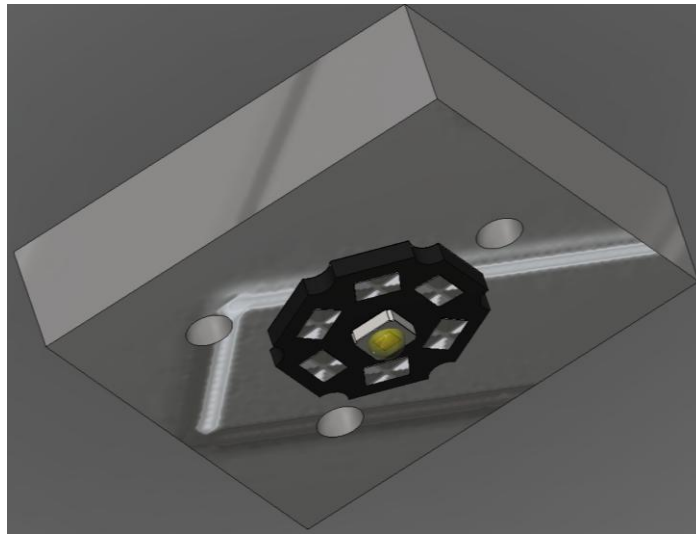


Figura 7.1 Diseño mecánico diodo de 3W con el disipador de plancha de aluminio

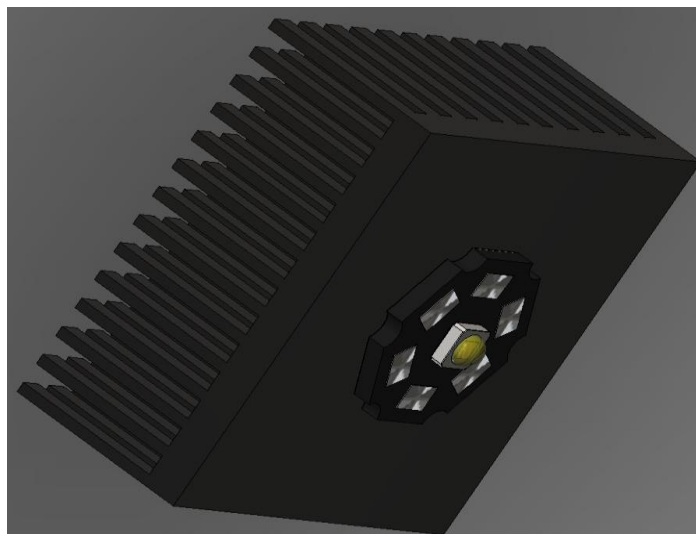


Figura 7.2 Diseño mecánico diodo de 3W con el disipador de aluminio con aletas

Además de ello, se han utilizado dos diodos ultravioleta de distinto tipo y precio. Los dos tipos de diodo van montados en el mismo soporte metálico y se alimentan con la misma potencia 3W, sin embargo tienen unas características de radiación emitida, temperatura en la unión del chip, y rendimiento óptico diferente.

La temperatura de la unión del chip es muy importante en este tipo de LEDs, porque no se emplean para iluminar sino como un sensor, por lo que es crítico que no modifique su longitud de onda de trabajo, y que su potencia óptica sea elevada y no se modifique con el tiempo, por lo que una adecuada disipación del LED es fundamental.

Como se ha dicho este dispositivo es para utilizarlo específicamente en la identificación de agua de río contaminada con hidrocarburos. Estas pruebas contribuyen a elegir la relación entre precio, emisión de ultravioleta, y temperatura del dispositivo más adecuada para un desarrollo comercial. Lo ideal sería un dispositivo barato, con un elevado nivel de radiación ultravioleta, y a una baja temperatura en la unión del chip, de esta forma el periodo de vida del diodo es mucho mayor. En este proyecto se va a denominar a los diodos “Diodo de 3W A” y “Diodo de 3W B”.

Simulaciones térmicas del diodo de 3W con el disipador de plancha de aluminio

7.1. Simulaciones Diodo 3W con el disipador de plancha de aluminio

A continuación se van a realizar cada uno de los pasos mencionados anteriormente para cada uno de los diodos de 3W (“Diodo de 3W A” y “Diodo de 3W B”) particularizando para el caso del disipador de plancha de aluminio.

7.1.1. Diodo de 3 W del tipo A

7.1.1.1. Calculo coeficiente de convección térmico

El coeficiente de convección térmico se calcula mediante el programa Thermal Wizard, mediante el valor de la altura y anchura de cada una de las caras que influyen en la convección, se calcular el valor del coeficiente de convección térmico (h).

Para el cálculo del coeficiente de convección térmica de cada cara se han fijado los siguientes valores:

Description	Symbol	Value	Units
Film Temperature = $(T_p + T_a)/2$	T_f	40	°C
Specific Heat	C_p	1007	J/kg-°C
Coefficient of Thermal Expansion	B	0.0034	1/K
Thermal Conductivity	k	0.0261	W/m-°C
Dynamic Viscosity	μ	0.0000185	m ² /s
Density at reference temperature of 20 C	ρ_{ref}	1.201	kg/m ³
Density calculated at film temperature T_f	ρ	1.12426	kg/m ³
Emissivity	e	.85	None

- Superficie superior del disipador: Se debe elegir la opción de Horizontal Plate.

Results for Plate

Description	Symbol	Value	Units
Prandtl Number = ν/α	Pr	0.713774	None
Grashof Number = $g \cdot \beta \cdot (T_p - T_a) \cdot (W \cdot L) / (\nu^2)$	Gr	32.0477E+3	None
Rayleigh Number = $Gr \cdot Pr$	Ra	22.8748E+3	None
Nusselt Number = $0.54 \cdot (Gr \cdot Pr)^{0.25}$	Nu	6.641	None
Average Heat Transfer Coefficient = $Nu \cdot k / (W \cdot L)$	h	9.28554	W/m ² -C
Convective Heat Transfer = $h \cdot W \cdot L \cdot (T_p - T_a)$	q_{conv}	2.07996	W
Radiative Heat Transfer = $\Sigma \cdot W \cdot L \cdot e \cdot (T_p^4 - T_a^4)$	q_{rad}	1.33145	W
Total Heat Transfer = $q_{conv} + q_{rad}$	q_{tot}	3.41141	W

- Superficie inferior del disipador: En este caso la opción elegida para el cálculo debe ser en horizontal.

Results for Plate

Description	Symbol	Value	Units
Prandlt Number = ν/a	Pr	0.713774	None
Grashof Number = $g \cdot \text{cte} \cdot (T_p - T_a) \cdot H^3 / \nu^2$	Gr	3.12927E+6	None
Rayleigh Number = $Gr \cdot Pr$	Ra	2.23359E+6	None
Nusselt = $0.68 + 0.67 \cdot Ra^{0.25} / [1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{4/9}$	Nu	20.572	None
Average Heat Transfer Coefficient = $Nu \cdot k / H$	h	5.3693	W/m ² -C
Convective HeatTransfer = $h \cdot W \cdot H \cdot (T_p - T_a)$	q _{conv}	1.20809	W
Radiative Heat Transfer = $\text{Sigma} \cdot W \cdot H \cdot e \cdot (T_p^4 - T_a^4)$	q _{rad}	1.3024	W
Total Heat Transfer = $q_{\text{conv}} + q_{\text{rad}}$	q _{tot}	2.51049	W

- Superficies laterales del disipador:

Plate Dimensions

Description	Symbol	Value	Units
Plate Width (across flow)	W	0.1	Meters
Plate Height (with flow)	H	0.005	Meters
Plate Temperature	T _p	60	°C
Ambient Temperature	T _a	25	°C
Results			

Results for Plate

Description	Symbol	Value	Units
Prandlt Number = ν/a	Pr	0.713774	None
Grashof Number = $g \cdot \text{cte} \cdot (T_p - T_a) \cdot H^3 / \nu^2$	Gr	530.402	None
Rayleigh Number = $Gr \cdot Pr$	Ra	378.587	None
Nusselt = $0.68 + 0.67 \cdot Ra^{0.25} / [1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{4/9}$	Nu	2.94971	None
Average Heat Transfer Coefficient = $Nu \cdot k / H$	h	15.3975	W/m ² -C
Convective HeatTransfer = $h \cdot W \cdot H \cdot (T_p - T_a)$	q _{conv}	0.269456	W
Radiative Heat Transfer = $\text{Sigma} \cdot W \cdot H \cdot e \cdot (T_p^4 - T_a^4)$	q _{rad}	0.106425	W
Total Heat Transfer = $q_{\text{conv}} + q_{\text{rad}}$	q _{tot}	0.375881	W

- Superficies laterales del diodo:

Plate Dimensions

Description	Symbol	Value	Units
Plate Width (across flow)	W	0.1	Meters
Plate Height (with flow)	H	0.0015	Meters
Plate Temperature	T_p	60	°C
Ambient Temperature	T_a	25	°C
Results			

Results for Plate

Description	Symbol	Value	Units
Prandlt Number = ν/α	Pr	0.713774	None
Grashof Number = $g \cdot \text{cte} \cdot (T_p - T_a) \cdot H^3 / \nu^2$	Gr	14.3209	None
Rayleigh Number = $Gr \cdot Pr$	Ra	10.2219	None
Nusselt = $0.68 + 0.67 \cdot Ra^{0.25} / [1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{4/9}$	Nu	1.60005	None
Average Heat Transfer Coefficient = $Nu \cdot k/H$	h	27.8408	W/m ² -C
Convective HeatTransfer = $h \cdot W \cdot H \cdot (T_p - T_a)$	q_{conv}	0.146164	W
Radiative Heat Transfer = $\text{Sigma} \cdot W \cdot H \cdot e \cdot (T_p^4 - T_a^4)$	q_{rad}	0.0319276	W
Total Heat Transfer = $q_{\text{conv}} + q_{\text{rad}}$	q_{tot}	0.178092	W

7.1.1.2. Elección de los materiales de las capas

A continuación se va a elegir los materiales de cada una de las capas del diodo de 3W:

Part ID	Part Name	Element type	Material Name
1	Silicona termico:1	Thermal Brick	Corning Vycorr 7950 Red Glass
2	Aluminio:1	Thermal Brick	Aluminum 6063-T6
3	metalizados:1	Thermal Brick	Gold, Au
4	Cobre:1	Thermal Brick	Silver, Ag
5	Estaño plomo:1	Thermal Brick	Tin, Sn
6	Alumina:1	Thermal Brick	CoorsTek Alumina, AD-85 (nom. 85% Al ₂ O ₃)
7	Chips:1	Thermal Brick	Silicon, Si
8	esfera:1	Thermal Brick	Anocast Silica-filled Epoxy Polymer Composite
9	disip aluminio:1	Thermal Brick	Aluminum 6063-T6
10	metalizado sup:1	Thermal Brick	Silver, Ag
11	estaño chip:1	Thermal Brick	Tin, Sn

Las características térmicas que presentan estos materiales son:

Corning Vycorr 7950 Red Glass	
Material Model	Isotropic
Mass Density	$2000000000000 \text{ kg/m}^3$
Thermal Conductivity	$0 \left(\text{J/(s} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C)} \right)$
Specific Heat	$0 \left(\text{J/(kg}^\circ\text{C)} \right)$

Aluminum 6063-T6 -Thermal Brick	
Material Model	Isotropic
Mass Density	$2000000000000 \text{ kg/m}^3$
Thermal Conductivity	$0 \left(\text{J/(s} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C)} \right)$
Specific Heat	$900 \left(\text{J/(kg}^\circ\text{C)} \right)$

Gold, Au	
Material Model	Isotropic
Mass Density	$1000000000000 \text{ kg/m}^3$
Thermal Conductivity	$0 \left(\text{J/(s} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C)} \right)$
Specific Heat	$132,3 \left(\text{J/(kg}^\circ\text{C)} \right)$

Silver, Ag	
Material Model	Isotropic
Mass Density	$1000000000000 \text{ kg/m}^3$
Thermal Conductivity	$0 \left(\text{J/(s} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C)} \right)$
Specific Heat	$234 \left(\text{J/(kg}^\circ\text{C)} \right)$

Tin, Sn	
Material Model	Isotropic
Mass Density	$5000000000000 \text{ kg/m}^3$
Thermal Conductivity	$0 \text{ (J/(s * m * } ^\circ\text{C))}$
Specific Heat	$213 \text{ (J/(kg} ^\circ\text{C))}$

CoorsTek Alumina, AD-85 (nom. 85% Al ₂ O ₃) - Thermal Brick	
Material Model	Isotropic
Mass Density	$3000000000000 \text{ kg/m}^3$
Thermal Conductivity	$0 \text{ (J/(s * m * } ^\circ\text{C))}$
Specific Heat	$0 \text{ (J/(kg} ^\circ\text{C))}$

Silicon, Si -Thermal Brick	
Material Model	Isotropic
Mass Density	$2000000000000 \text{ kg/m}^3$
Thermal Conductivity	$0 \text{ (J/(s * m * } ^\circ\text{C))}$
Specific Heat	$702 \text{ (J/(kg} ^\circ\text{C))}$

Anocast Silica-filled Epoxy Polymer Composite - Thermal Brick	
Material Model	Isotropic
Mass Density	$2000000000000 \text{ kg/m}^3$
Thermal Conductivity	$0 \text{ (J/(s * m * } ^\circ\text{C))}$
Specific Heat	$0 \text{ (J/(kg} ^\circ\text{C))}$

7.1.1.3. Cálculo de la potencia por unidad de volumen.

Teniendo en cuenta el tamaño del chip, las medidas realizadas en el laboratorio y el rendimiento óptico obtenido del Datasheet, se ha realizado el cálculo de la potencia por unidad de volumen:

Valores iniciales						
Alto(mm)	Ancho(mm)	Largo (mm)	Volumen (mm ³)	(W)	(W)	P por unidad volumen
0,1	1,8	1,8	0,324	2,35	1,99	6169653954

7.1.1.4. Simulaciones del diodo de 3W tipo A con el disipador de plancha de aluminio

Una vez que se han establecido cada uno de los coeficientes mencionados anteriormente, se realiza la simulación. A continuación se muestran los resultados obtenidos:

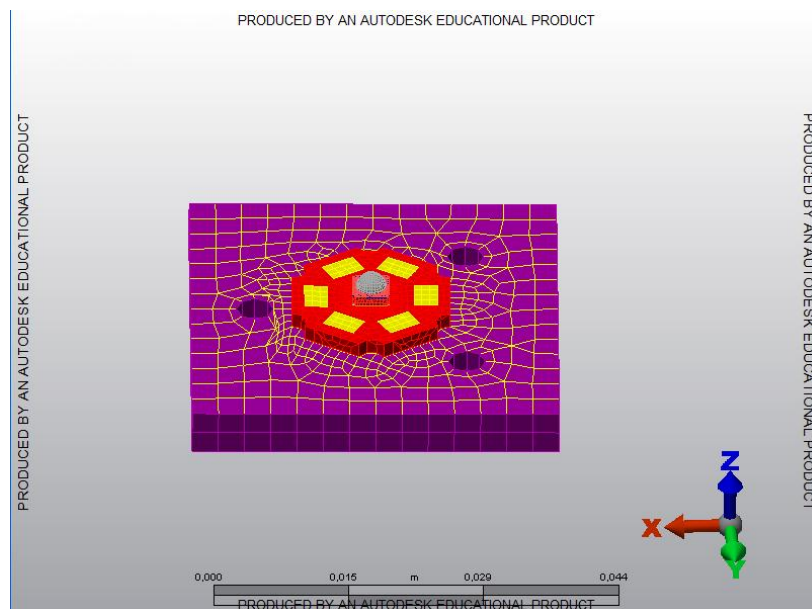
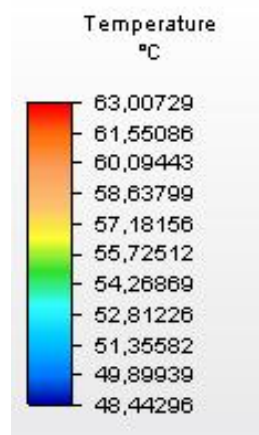


Figura 7.1.1.4.1 Diseño mecánico diodo de 3W

La variedad de temperatura que se ha obtenido en cada una de las simulaciones es:



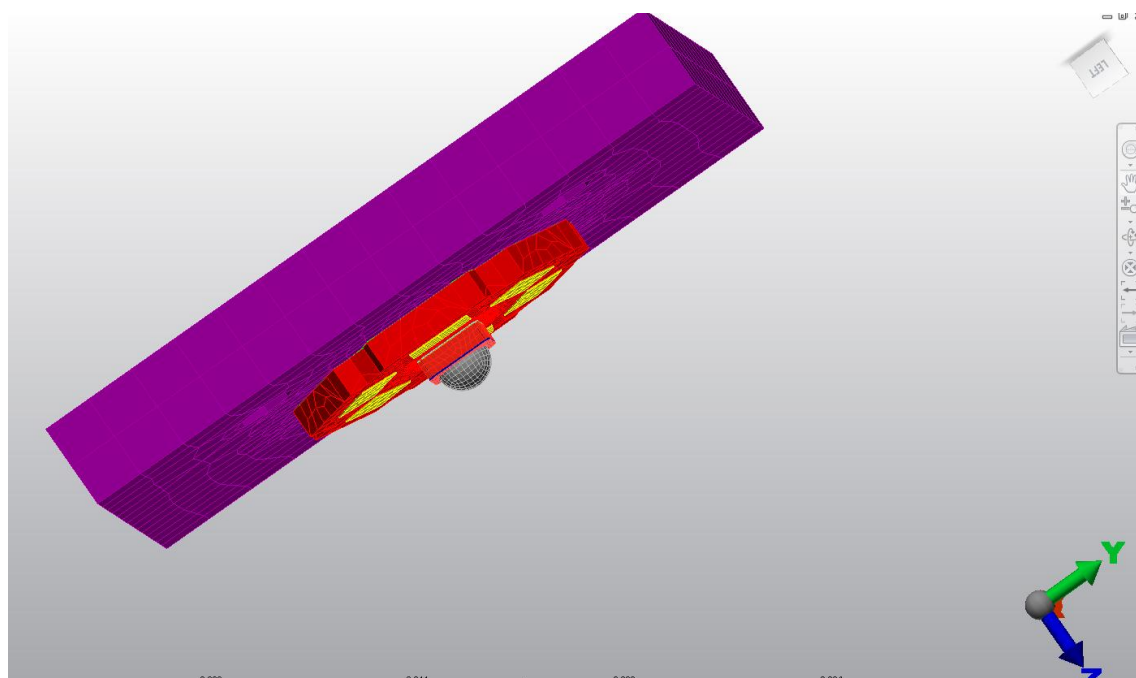


Figura 7.1.1.4.2 Imagen del diodo de 3W antes de realizar las simulaciones térmicas

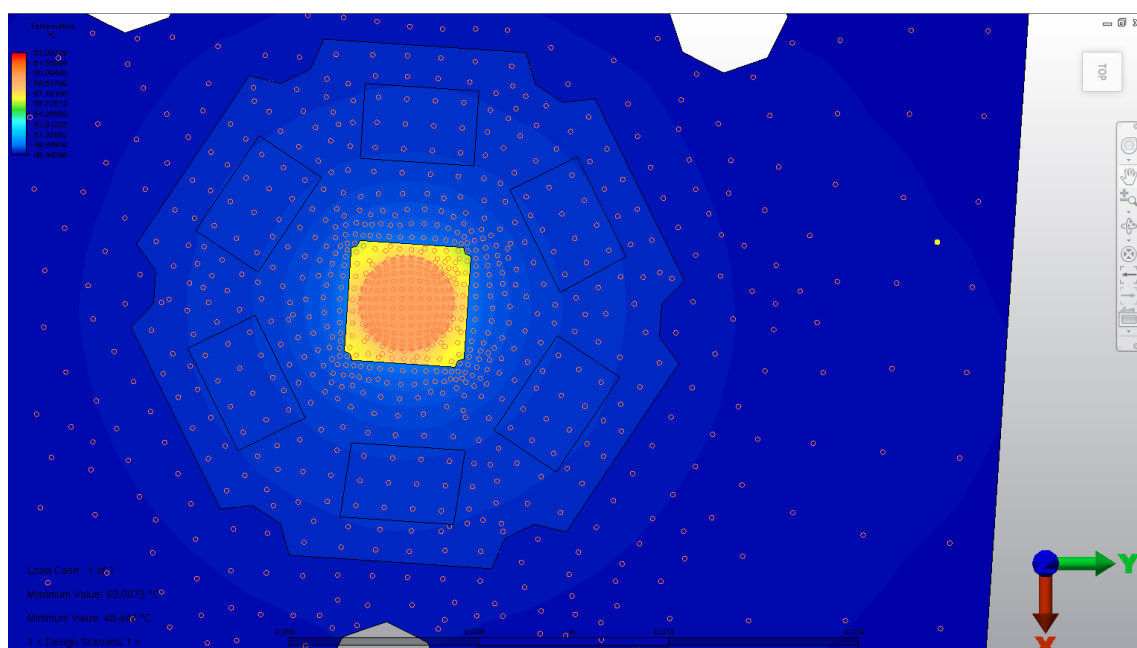


Figura 7.1.1.4.3 Vista de la parte superior del diodo de 3W

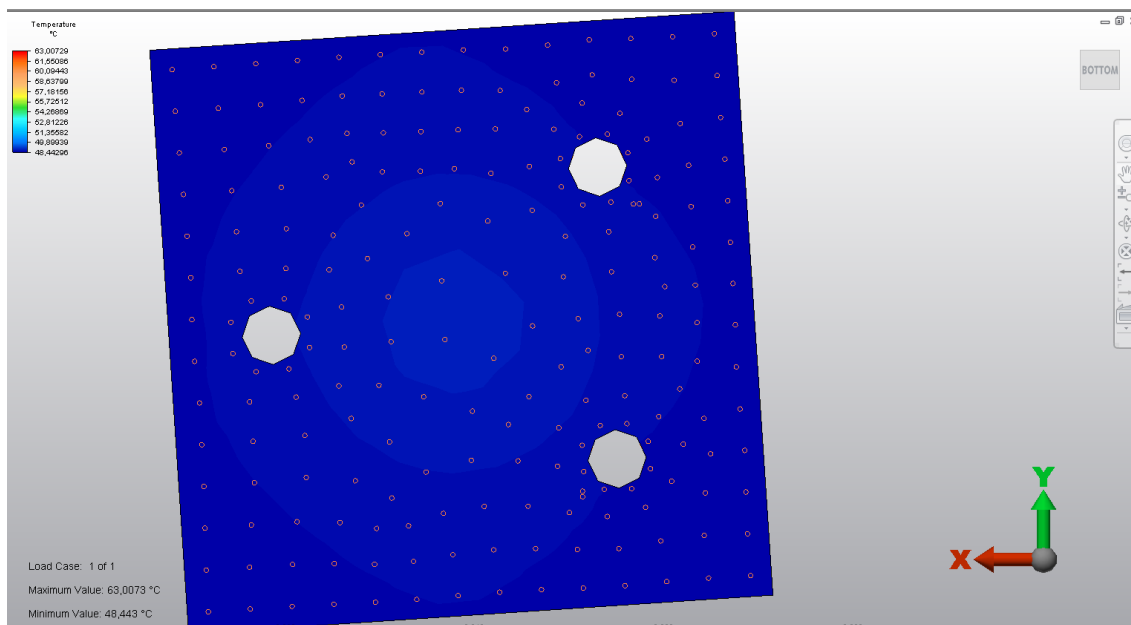


Figura 7.1.1.4.4 Vista de la parte inferior del diodo de 3W

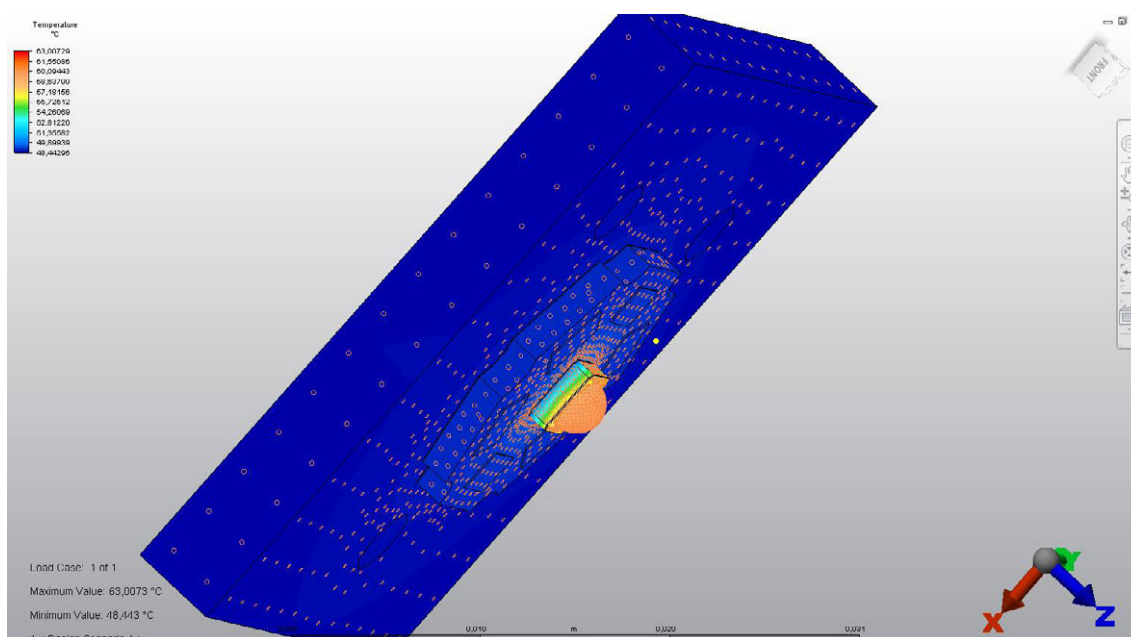


Figura 7.1.1.4.5 Vista isométrica del diodo de 3W

Utilizando un plano imaginario en los ejes XZ se puede visualizar la diferencia térmica en el interior del diodo.

Simulaciones térmicas del diodo ultravioleta de 3W con el disipador de plancha de aluminio

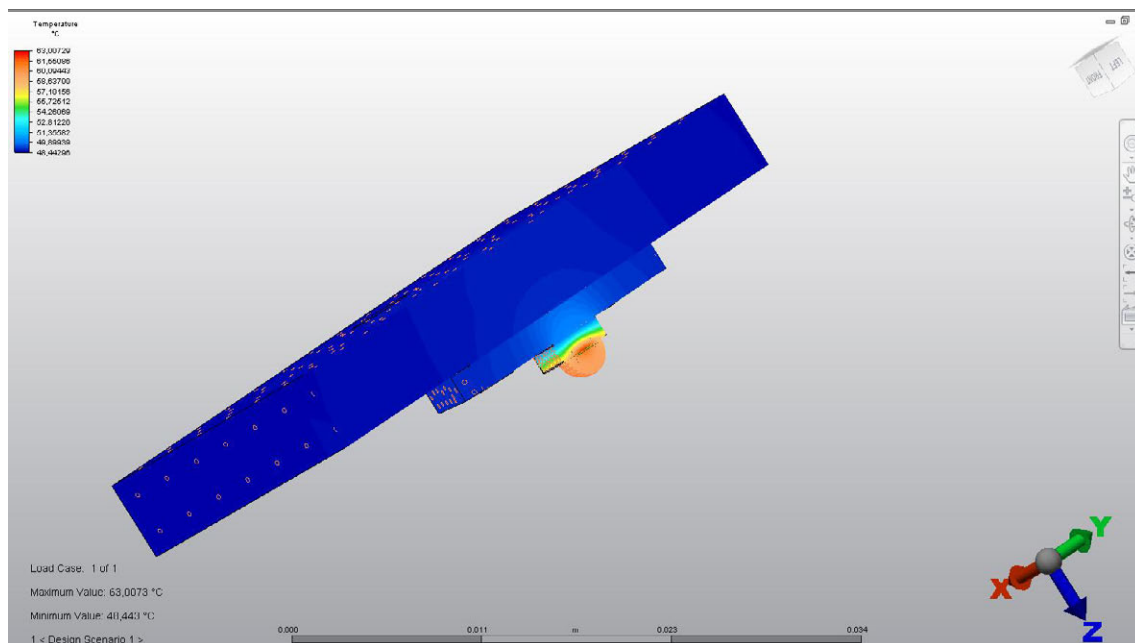


Figura 7.1.1.4.6 Ilustración de la variedad térmica en el diodo de 3W

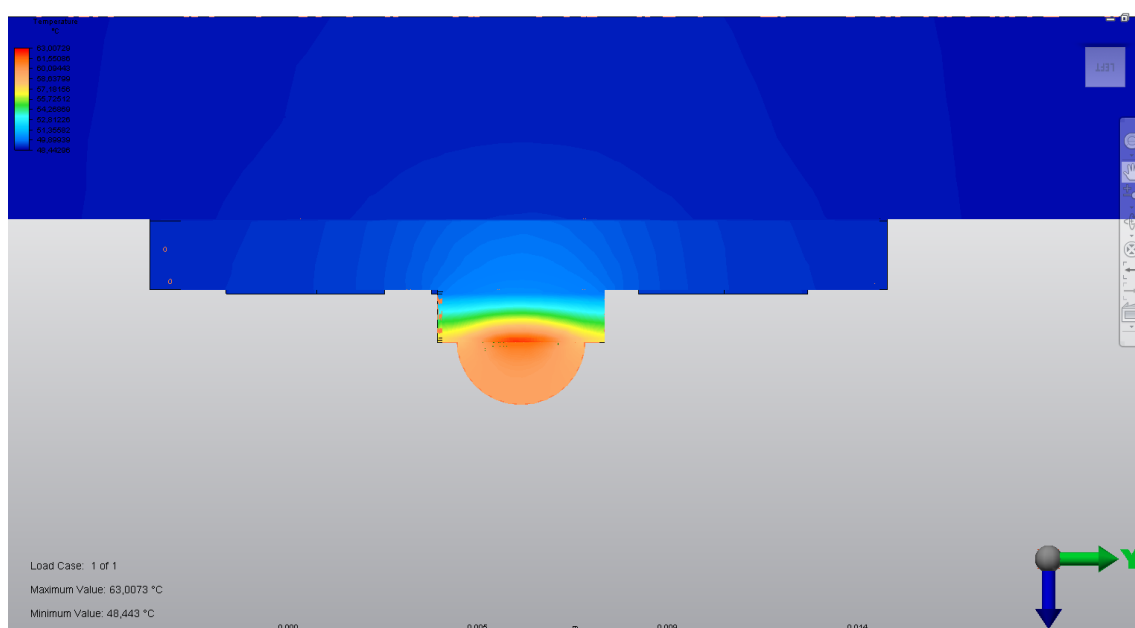


Figura 7.1.1.4.7 Ilustración de la variedad térmica en el diodo de 3W

7.1.2. Diodo de 3 W del tipo B

7.1.2.1. Cálculo coeficiente de convección térmico

El coeficiente de convección térmico se calcula mediante el programa Thermal Wizard, mediante el valor de la altura y anchura de cada una de las caras que influyen en la convección, se calcular el valor del coeficiente de convección térmico (h).

Para el cálculo del coeficiente de convección térmica de cada cara se han fijado los siguientes valores:

Description	Symbol	Value	Units
Film Temperature = $(T_p + T_a)/2$	T_f	40	°C
Specific Heat	C_p	1007	J/kg-°C
Coefficient of Thermal Expansion	β	0.0034	1/K
Thermal Conductivity	k	0.0261	W/m-°C
Dynamic Viscosity	μ	0.0000185	m ² /s
Density at reference temperature of 20 C	ρ_{ref}	1.201	kg/m ³
Density calculated at film temperature T_f	ρ	1.12426	kg/m ³
Emissivity	e	.85	None

- Superficie superior del disipador: Se debe elegir la opción de Horizontal Plate.

Results for Plate

Description	Symbol	Value	Units
Prandtl Number = ν/α	Pr	0.713774	None
Grashof Number = $g \cdot \beta \cdot (T_p - T_a) \cdot (W \cdot L) / (\nu^2)$	Gr	28.4951E+3	None
Rayleigh Number = $Gr \cdot Pr$	Ra	20.3391E+3	None
Nusselt Number = $0.54 \cdot (Gr \cdot Pr)^{0.25}$	Nu	6.44877	None
Average Heat Transfer Coefficient = $Nu \cdot k / (W \cdot L)$	h	9.01676	W/m ² -C
Convective Heat Transfer = $h \cdot W \cdot L \cdot (T_p - T_a)$	q_{conv}	1.76728	W
Radiative Heat Transfer = $\sigma \cdot W \cdot L \cdot e \cdot (T_p^4 - T_a^4)$	q_{rad}	1.1363	W
Total Heat Transfer = $q_{conv} + q_{rad}$	q_{tot}	2.90358	W

- Superficie inferior del disipador: En este caso la opción elegida para el cálculo debe ser en horizontal.

Simulaciones térmicas del diodo ultravioleta de 3W con el disipador de plancha de aluminio

Results for Plate

Description	Symbol	Value	Units
Prandlt Number = ν/α	Pr	0.713774	None
Grashof Number = $g \cdot \text{cte} \cdot (T_p - T_a) \cdot H^3 / \nu^2$	Gr	461.922	None
Rayleigh Number = $Gr \cdot Pr$	Ra	329.708	None
Nusselt = $0.68 + 0.67 \cdot Ra^{0.25} / [1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{4/9}$	Nu	2.8726	None
Average Heat Transfer Coefficient = $Nu \cdot k / H$	h	14.995	W/m ² .C
Convective HeatTransfer = $h \cdot W \cdot H \cdot (T_p - T_a)$	q _{conv}	0.224925	W
Radiative Heat Transfer = $\text{Sigma} \cdot W \cdot H \cdot e \cdot (T_p^4 - T_a^4)$	q _{rad}	0.089001	W
Total Heat Transfer = $q_{\text{conv}} + q_{\text{rad}}$	q _{tot}	0.313926	W

- Superficies laterales del disipador:

Plate Dimensions

Description	Symbol	Value	Units
Plate Width (across flow)	W	0.1	Meters
Plate Height (with flow)	H	0.005	Meters
Plate Temperature	T _p	55	°C
Ambient Temperature	T _a	25	°C
Results			

Results for Plate

Description	Symbol	Value	Units
Prandlt Number = ν/α	Pr	0.713774	None
Grashof Number = $g \cdot \text{cte} \cdot (T_p - T_a) \cdot H^3 / \nu^2$	Gr	461.922	None
Rayleigh Number = $Gr \cdot Pr$	Ra	329.708	None
Nusselt = $0.68 + 0.67 \cdot Ra^{0.25} / [1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{4/9}$	Nu	2.8726	None
Average Heat Transfer Coefficient = $Nu \cdot k / H$	h	14.995	W/m ² .C
Convective HeatTransfer = $h \cdot W \cdot H \cdot (T_p - T_a)$	q _{conv}	0.224925	W
Radiative Heat Transfer = $\text{Sigma} \cdot W \cdot H \cdot e \cdot (T_p^4 - T_a^4)$	q _{rad}	0.089001	W
Total Heat Transfer = $q_{\text{conv}} + q_{\text{rad}}$	q _{tot}	0.313926	W

- Superficies laterales del diodo:

Plate Dimensions

Description	Symbol	Value	Units
Plate Width (across flow)	W	0.1	Meters
Plate Height (with flow)	H	0.0015	Meters
Plate Temperature	T _p	55	°C
Ambient Temperature	T _a	25	°C
Results			

Results for Plate

Description	Symbol	Value	Units
Prandtl Number = ν/α	Pr	0.713774	None
Grashof Number = $g \cdot \text{cte} \cdot (T_p - T_a) \cdot H^3 / \nu^2$	Gr	12.4719	None
Rayleigh Number = $Gr \cdot Pr$	Ra	8.90211	None
Nusselt = $0.68 + 0.67 \cdot Ra^{0.25} / [1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{4/9}$	Nu	1.56879	None
Average Heat Transfer Coefficient = $Nu \cdot k/H$	h	27.297	W/m ² -C
Convective Heat Transfer = $h \cdot W \cdot H \cdot (T_p - T_a)$	q _{conv}	0.122837	W
Radiative Heat Transfer = $\text{Sigma} \cdot W \cdot H \cdot e \cdot (T_p^4 - T_a^4)$	q _{rad}	0.0267003	W
Total Heat Transfer = $q_{\text{conv}} + q_{\text{rad}}$	q _{tot}	0.149537	W

7.1.2.2. Elección de los materiales de las capas

A continuación se va a elegir los materiales de cada una de las capas del diodo de 3W:

Part ID	Part Name	Element type	Material Name
1	Silicona termico:1	Thermal Brick	Corning Vycorr 7950 Red Glass
2	Aluminio:1	Thermal Brick	Aluminum 6063-T6
3	metalizados:1	Thermal Brick	Gold, Au
4	Cobre:1	Thermal Brick	Silver, Ag
5	Estaño plomo:1	Thermal Brick	Tin, Sn
6	Alumina:1	Thermal Brick	CoorsTek Alumina, AD-85 (nom. 85% Al ₂ O ₃)
7	Chips:1	Thermal Brick	Silicon, Si
8	esfera:1	Thermal Brick	Anocast Silica-filled Epoxy Polymer Composite
9	disip aluminio:1	Thermal Brick	Aluminum 6063-T6
10	metalizado sup:1	Thermal Brick	Silver, Ag
11	estaño chip:1	Thermal Brick	Tin, Sn

Las características térmicas que presentas estos materiales son:

Corning Vycorr 7950 Red Glass	
Material Model	Isotropic
Mass Density	2000000000000 kg/m^3
Thermal Conductivity	0 $(\text{J}/(\text{s} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}))$
Specific Heat	0 $(\text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}))$

Aluminum 6063-T6 -Thermal Brick	
Material Model	Isotropic
Mass Density	$2000000000000 \text{ kg/m}^3$
Thermal Conductivity	$0 \left(\frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$
Specific Heat	$900 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$

Gold, Au	
Material Model	Isotropic
Mass Density	$10000000000000 \text{ kg/m}^3$
Thermal Conductivity	$0 \left(\frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$
Specific Heat	$132,3 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$

Silver, Ag	
Material Model	Isotropic
Mass Density	$10000000000000 \text{ kg/m}^3$
Thermal Conductivity	$0 \left(\frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$
Specific Heat	$234 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$

Tin, Sn	
Material Model	Isotropic
Mass Density	$5000000000000 \text{ kg/m}^3$
Thermal Conductivity	$0 \left(\frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$
Specific Heat	$213 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$

CoorsTek Alumina, AD-85 (nom. 85% Al ₂ O ₃) - Thermal Brick	
Material Model	Isotropic
Mass Density	$3000000000000 \text{ kg/m}^3$
Thermal Conductivity	$0 \left(\frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$
Specific Heat	$0 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$

Silicon, Si -Thermal Brick	
Material Model	Isotropic
Mass Density	$2000000000000 \text{ kg/m}^3$
Thermal Conductivity	$0 \text{ (J/(s * m * } ^\circ\text{C))}$
Specific Heat	$702 \text{ (J/(kg} ^\circ\text{C))}$

Anocast Silica-filled Epoxy Polymer Composite - Thermal Brick	
Material Model	Isotropic
Mass Density	$2000000000000 \text{ kg/m}^3$
Thermal Conductivity	$0 \text{ (J/(s * m * } ^\circ\text{C))}$
Specific Heat	$0 \text{ (J/(kg} ^\circ\text{C))}$

7.1.2.3. Calculo de la potencia por unidad de volumen.

Teniendo en cuenta el tamaño del chip, las medidas realizadas en el laboratorio y el rendimiento óptico obtenido del Datasheet, se ha realizado el cálculo de la potencia por unidad de volumen:

Valores iniciales						
Alto(mm)	Ancho(mm)	Largo (mm)	Volumen (mm ³)	(W)	(W)	P por unidad volumen
0,1	1,8	1,8	0,324	2,35	1,66	5137907923

7.1.2.4. Simulaciones del diodo de 3W tipo B con el disipador de plancha de aluminio

Una vez que se han establecido cada uno de los coeficientes mencionados anteriormente, se realiza la simulación. A continuación se muestran los resultados obtenidos:

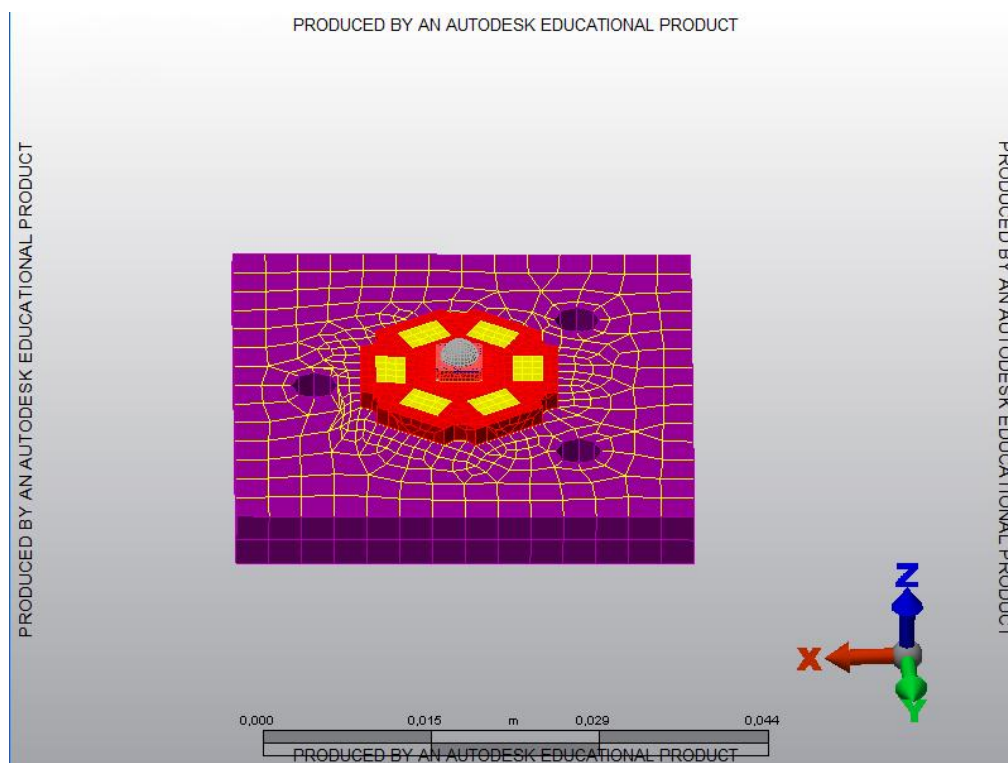
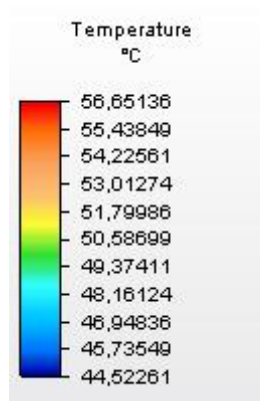


Figura 7.1.2.4.1 Diodo ultravioleta de 3W antes de realizar las simulaciones.

La variedad de temperatura que se ha obtenido en cada una de las simulaciones es:



Simulaciones térmicas del diodo ultravioleta de 3W con el dissipador de plancha de aluminio

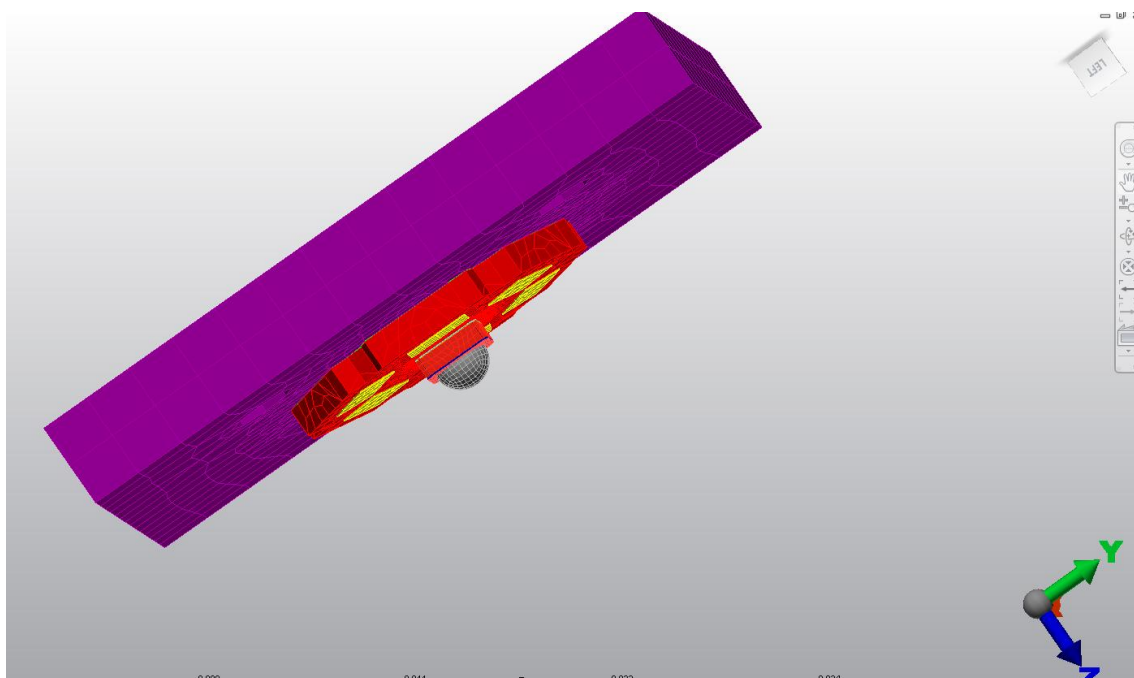


Figura 7.1.2.4.2 Imagen del diodo de 3W antes de realizar las simulaciones térmicas

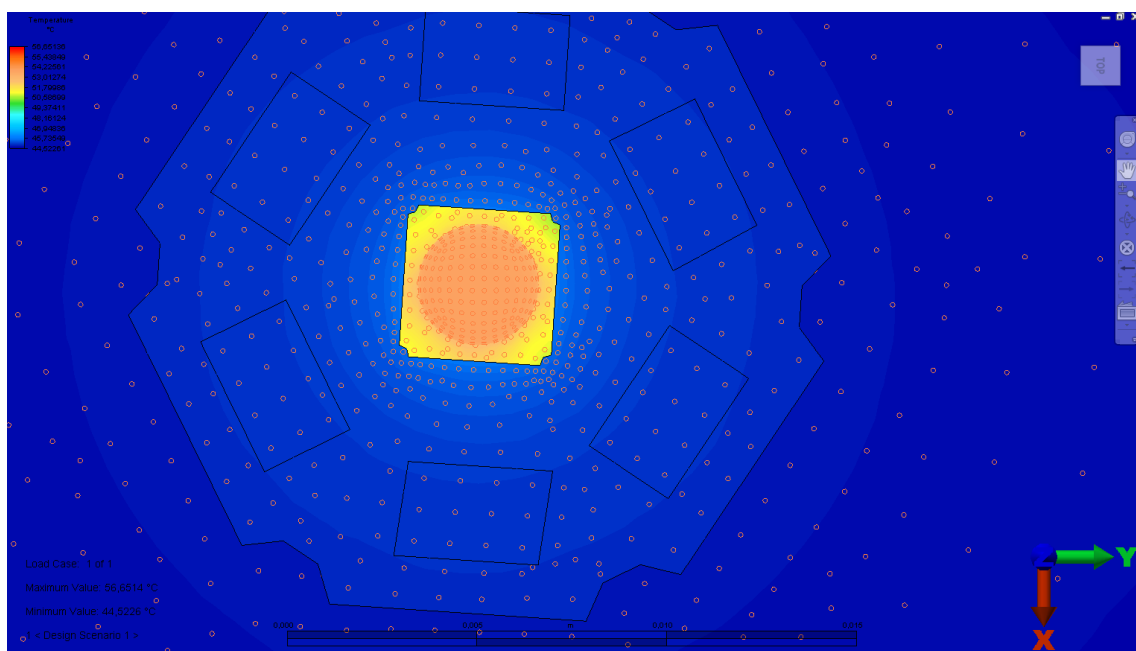


Figura 7.1.2.4.3 Vista de la parte superior del diodo de 3W

Simulaciones térmicas del diodo ultravioleta de 3W con el disipador de plancha de aluminio

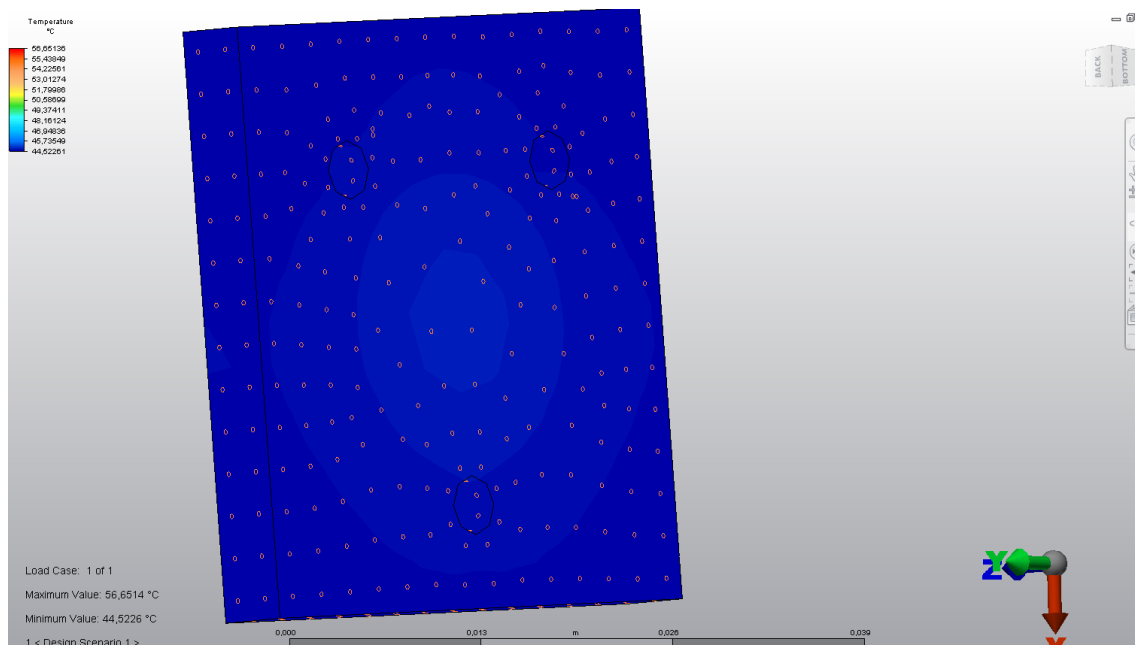


Figura 7.1.2.4.4 Vista de la parte inferior del diodo de 3W

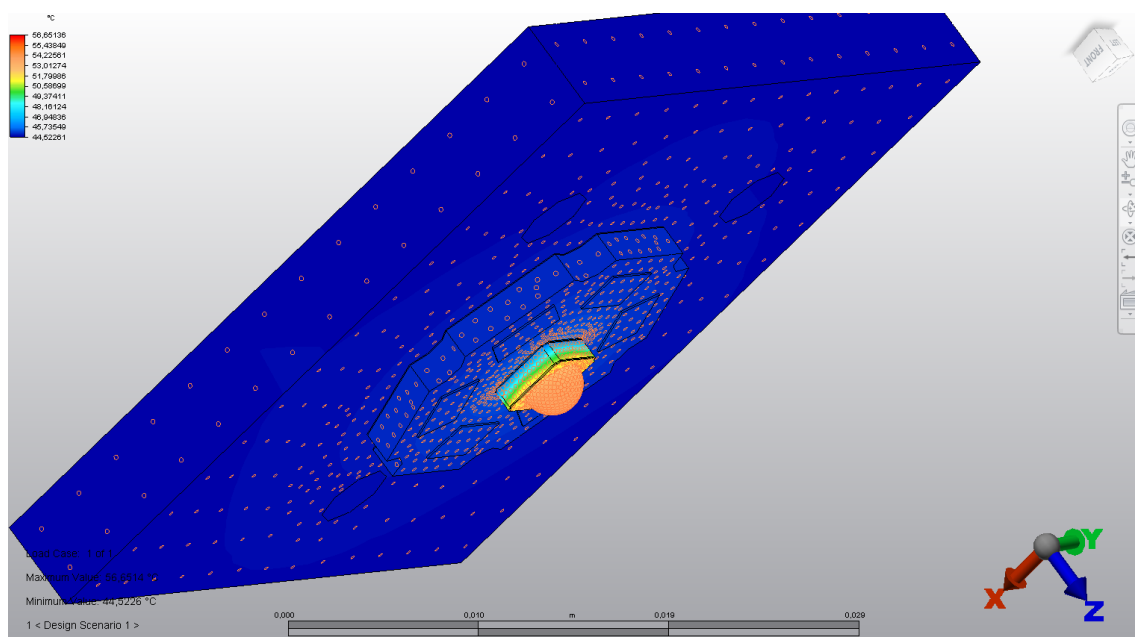


Figura 7.1.2.4.5 Vista isométrica del diodo de 3W

Utilizando un plano imaginario en los ejes XZ se puede visualizar la diferencia térmica en el interior del diodo.

Simulaciones térmicas del diodo ultravioleta de 3W con el disipador de plancha de aluminio

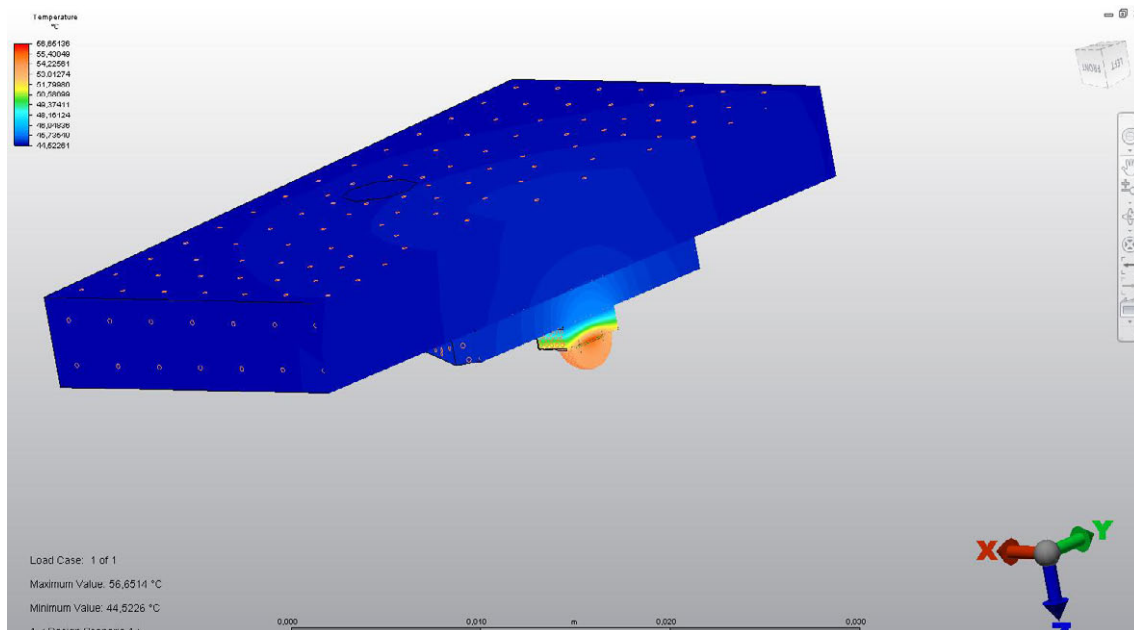


Figura 7.1.2.4.6 Ilustración de la variedad térmica en el diodo de 3W

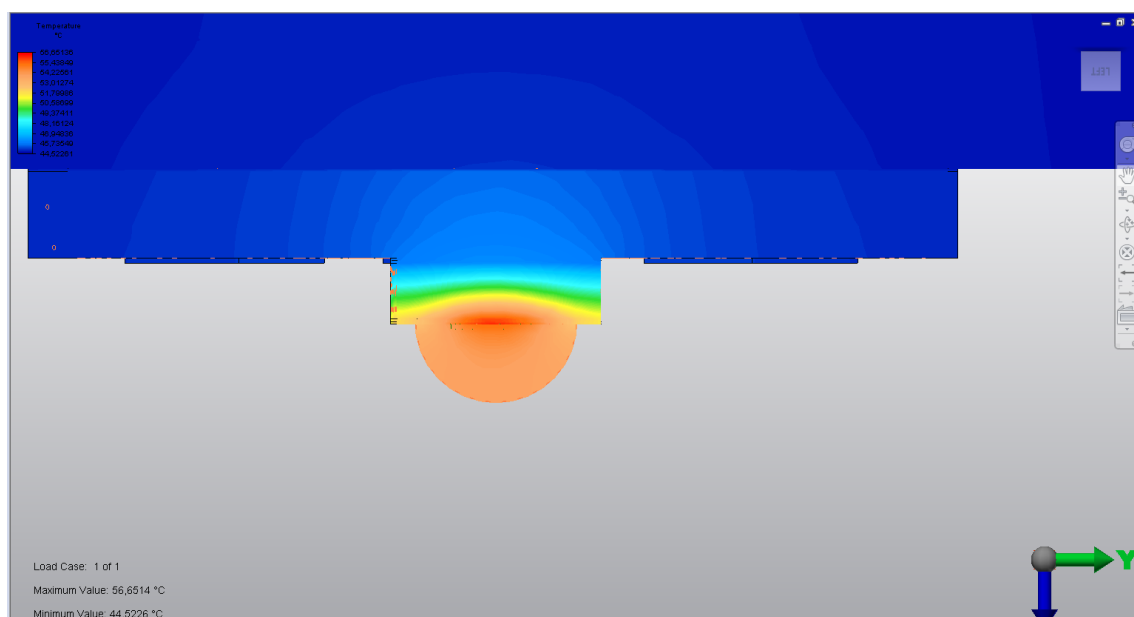


Figura 7.1.2.4.7 Ilustración de la variedad térmica en el diodo de 3W

Simulaciones térmicas del diodo de 3W con el disipador de plancha de aluminio con aletas

7.2. Simulaciones Diodo 3W con el disipador de aluminio con aletas

A continuación se van a realizar cada uno de los pasos mencionados anteriormente para cada uno de los diodos de 3W (“Diodo de 3W A” y “Diodo de 3W B”) particularizando para el caso del disipador de aluminio con aletas.


7.2.1. Diodo de 3 W del tipo A

A continuación se van a realizar los cálculos necesarios para poder realizar las simulaciones térmicas.

7.2.1.1. Calculo coeficiente de convección térmico

El coeficiente de convección térmico se calcula mediante el programa Thermal Wizard, mediante el valor de la altura y anchura de cada una de las caras que influyen en la convección, se calcular el valor del coeficiente de convección térmico (h).

Para el cálculo del coeficiente de convección térmica de cada cara se han fijado los siguientes valores:

Description	Symbol	Value	Units
Film Temperature = $(T_p + T_a)/2$	T_f	40	°C
Specific Heat	C_p	1007	J/kg-°C
Coefficient of Thermal Expansion	B	0.0034	1/K
Thermal Conductivity	k	0.0261	W/m-°C
Dynamic Viscosity		0.0000185	m ² /s
Density at reference temperature of 20 C	ρ_{0ref}	1.201	kg/m ³
Density calculated at film temperature T_f	ρ	1.12426	kg/m ³
Emissivity	e	.85	None

- Superficie aleta del disipador: Se debe elegir la opción de Vertical Plate.

Results for Plate

Description	Symbol	Value	Units
Prandlt Number = ν/α	Pr	0.713774	None
Grashof Number = $g \cdot \text{cte} \cdot (T_p - T_a) \cdot H^3 / \nu^2$	Gr	10.5918E+3	None
Rayleigh Number = $Gr \cdot Pr$	Ra	7.56018E+3	None
Nusselt = $0.68 + 0.67 \cdot Ra^{0.25} / [1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{4/9}$	Nu	5.47801	None
Average Heat Transfer Coefficient = $Nu \cdot k / H$	h	7.94312	W/m ² -C
Convective Heat Transfer = $h \cdot W \cdot H \cdot (T_p - T_a)$	q _{conv}	0.200167	W
Radiative Heat Transfer = $\text{Sigma} \cdot W \cdot H \cdot e \cdot (T_p^4 - T_a^4)$	q _{rad}	0.138103	W
Total Heat Transfer = $q_{\text{conv}} + q_{\text{rad}}$	q _{tot}	0.338269	W

- Superficie inferior del disipador y del LED: En este caso la opción elegida para el cálculo debe ser en Horizontal Plate.

Plate Dimensions

Description	Symbol	Value	Units
Plate Width (across flow)	W	0.1	Meters
Plate Length (along flow)	L	0.2	Meters
Plate Temperature	T _p	50	°C
Ambient Temperature	T _a	20	°C

Results

Results for Plate

Description	Symbol	Value	Units
Prandtl Number = ν/α	Pr	0.713774	None
Grashof Number = $g \cdot \text{cte} \cdot (T_p - T_a) \cdot ((W \cdot L) / (2W + 2L))^3 / \nu^2$	Gr	141.345E+3	None
Rayleigh Number = $Gr \cdot Pr$	Ra	100.889E+3	None
Nusselt Number = $0.27 \cdot (Gr \cdot Pr)^{0.25}$	Nu	4.81199	None
Average Heat Transfer Coefficient = $Nu \cdot k / ((W \cdot L) / (2W + 2L))$	h	3.76779	W/m ² -C
Convective Heat Transfer = $h \cdot W \cdot L \cdot (T_p - T_a)$	q _{conv}	2.26067	W
Radiative Heat Transfer = $\text{Sigma} \cdot W \cdot L \cdot e \cdot (T_p^4 - T_a^4)$	q _{rad}	3.3924	W
Total Heat Transfer = $q_{\text{conv}} + q_{\text{rad}}$	q _{tot}	5.65307	W

7.2.1.2. Elección de los materiales de las capas

A continuación se va a elegir los materiales de cada una de las capas del diodo de 3W:

Part ID	Part Name	Element type	Material Name
1	Silicona termico:1	Thermal Brick	Corning Vycorr 7950 Red Glass
2	Aluminio:1	Thermal Brick	Aluminum 6063-T6
3	chapas:1	Thermal Brick	Aluminum 6063-T6
4	Snpb:1	Thermal Brick	Tin, Sn
5	cobre:1	Thermal Brick	Silver, Ag
6	Alumina:1	Thermal Brick	CoorsTek Alumina, AD-85 (nom. 85% Al ₂ O ₃)
7	Chips:1	Thermal Brick	Silicon, Si
8	esfera:1	Thermal Brick	Anocast Silica-filled Epoxy Polymer Composite
9	Solid:1	Thermal Brick	Aluminum 6063-T6
10	metalizado:1	Thermal Brick	Silver, Ag

Las características térmicas que presentan estos materiales son:

Corning Vycorr 7950 Red Glass	
Material Model	Isotropic
Mass Density	$2000000000000 \text{ kg/m}^3$
Thermal Conductivity	$0 \text{ (J/(s * m * °C))}$
Specific Heat	0 (J/(kg °C))

Aluminum 6063-T6 -Thermal Brick	
Material Model	Isotropic
Mass Density	$2000000000000 \text{ kg/m}^3$
Thermal Conductivity	$0 \text{ (J/(s * m * °C))}$
Specific Heat	900 (J/(kg °C))

**Simulaciones térmicas del diodo ultravioleta de 3W con el disipador de aluminio
con aletas**

Tin, Sn	
Material Model	Isotropic
Mass Density	$5000000000000 \text{ kg/m}^3$
Thermal Conductivity	$0 \left(\frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$
Specific Heat	$213 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$

Silver, Ag	
Material Model	Isotropic
Mass Density	$10000000000000 \text{ kg/m}^3$
Thermal Conductivity	$0 \left(\frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$
Specific Heat	$234 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$

CoorsTek Alumina, AD-85 (nom. 85% Al ₂ O ₃) - Thermal Brick	
Material Model	Isotropic
Mass Density	$3000000000000 \text{ kg/m}^3$
Thermal Conductivity	$0 \left(\frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$
Specific Heat	$0 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$

Silicon, Si -Thermal Brick	
Material Model	Isotropic
Mass Density	$2000000000000 \text{ kg/m}^3$
Thermal Conductivity	$0 \left(\frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$
Specific Heat	$702 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$

Anocast Silica-filled Epoxy Polymer Composite - Thermal Brick	
Material Model	Isotropic
Mass Density	$2000000000000 \text{ kg/m}^3$
Thermal Conductivity	$0 \left(\frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$
Specific Heat	$0 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$

7.2.1.3. Cálculo de la potencia por unidad de volumen.

Teniendo en cuenta el tamaño del chip, las medidas realizadas en el laboratorio y el rendimiento óptico obtenido del Datasheet, se ha realizado el cálculo de la potencia por unidad de volumen:

Valores iniciales						
Alto(mm)	Ancho(mm)	Largo (mm)	Volumen (mm ³)	(W)	(W)	P por unidad volumen
0,1	1,8	1,8	0,324	2,38308938	2,0317	6270558048

7.2.1.4. Simulaciones del diodo de 3W tipo A con el disipador de aluminio con aletas

Una vez que se han establecido cada uno de los coeficientes mencionados anteriormente, se realiza la simulación. A continuación se muestran los resultados obtenidos:

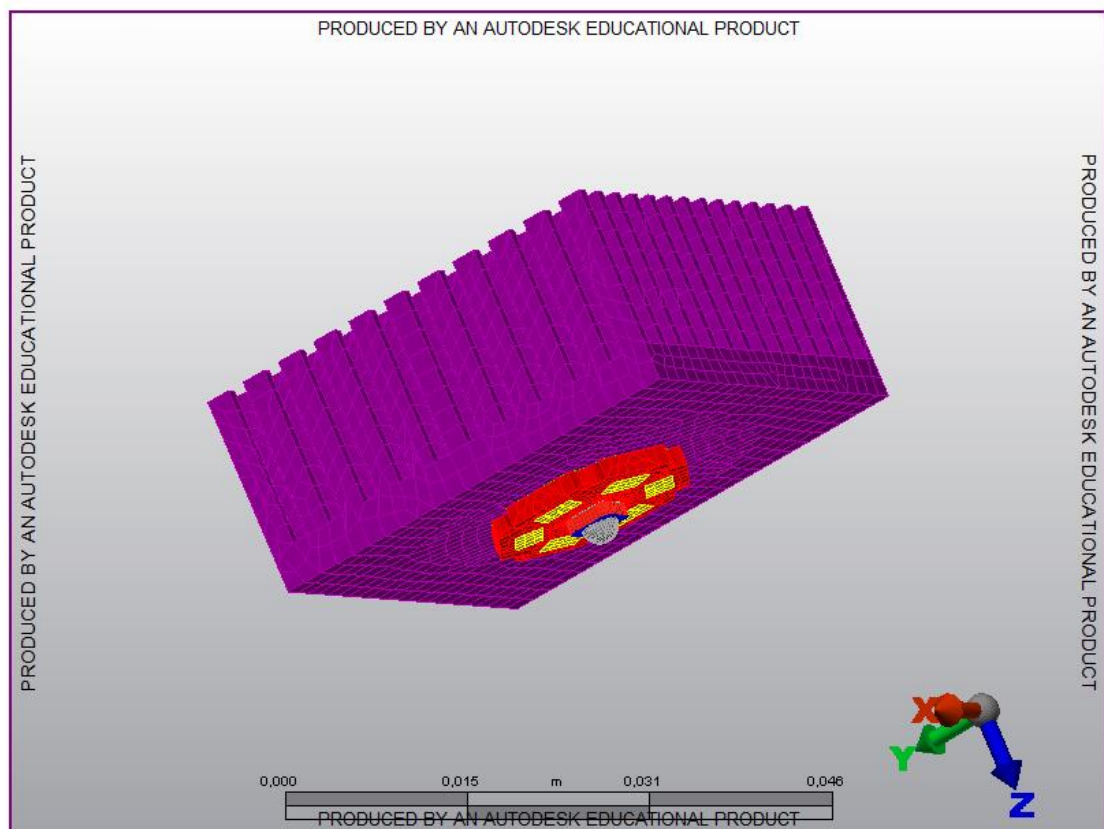


Figura 7.2.1.4.1 Diodo ultravioleta de 3W antes de realizar las simulaciones.

La variedad de temperatura que se ha obtenido en cada una de las simulaciones es:

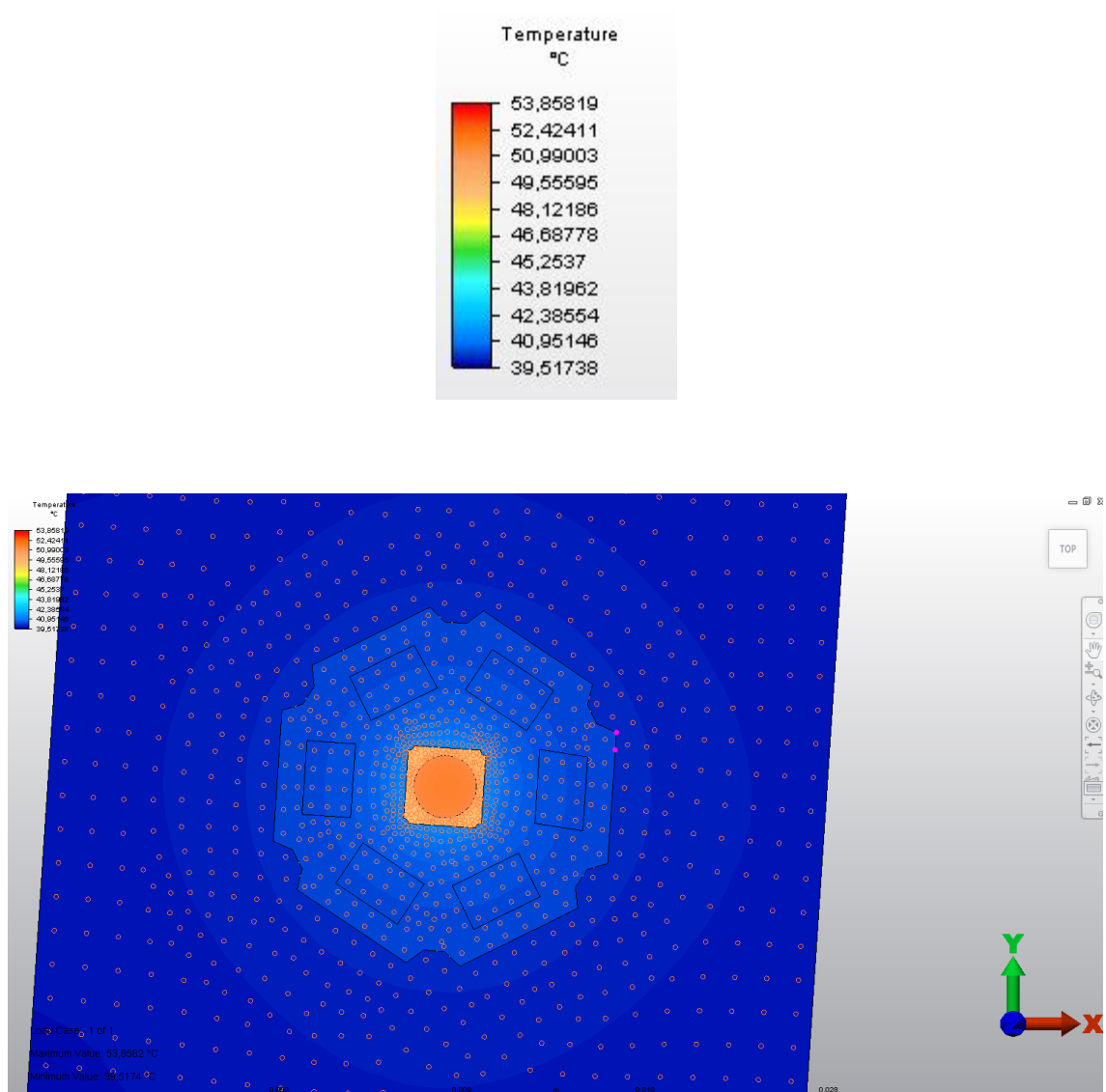


Figura 7.2.1.4.2 Vista de la parte superior del diodo de 3W

Simulaciones térmicas del diodo ultravioleta de 3W con el disipador de aluminio con aletas

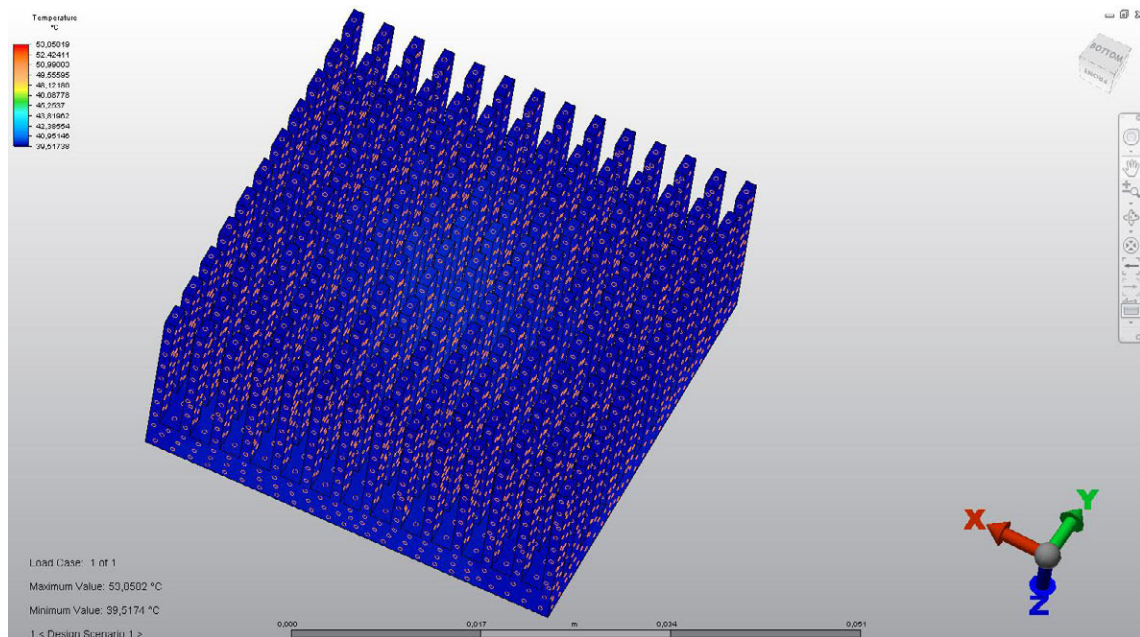


Figura 7.2.1.4.3 Vista de la parte inferior del diodo de 3W

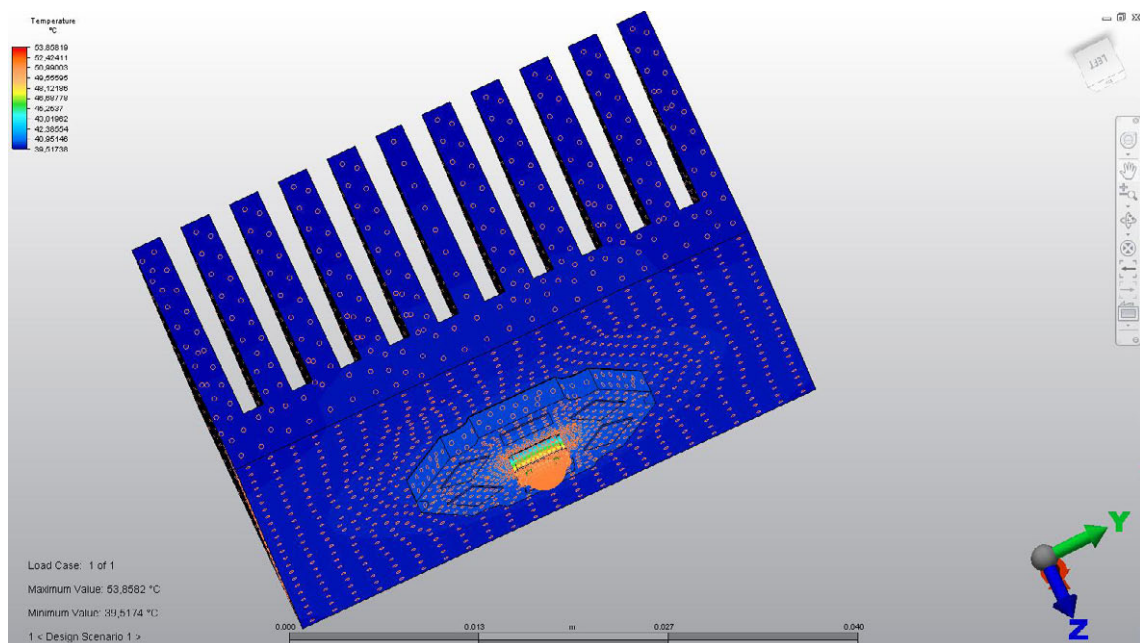


Figura 7.2.1.4.4 Vista isométrica del diodo de 3W

Utilizando un plano imaginario en los ejes XZ se puede visualizar la diferencia térmica en el interior del diodo.

Simulaciones térmicas del diodo ultravioleta de 3W con el disipador de aluminio con aletas

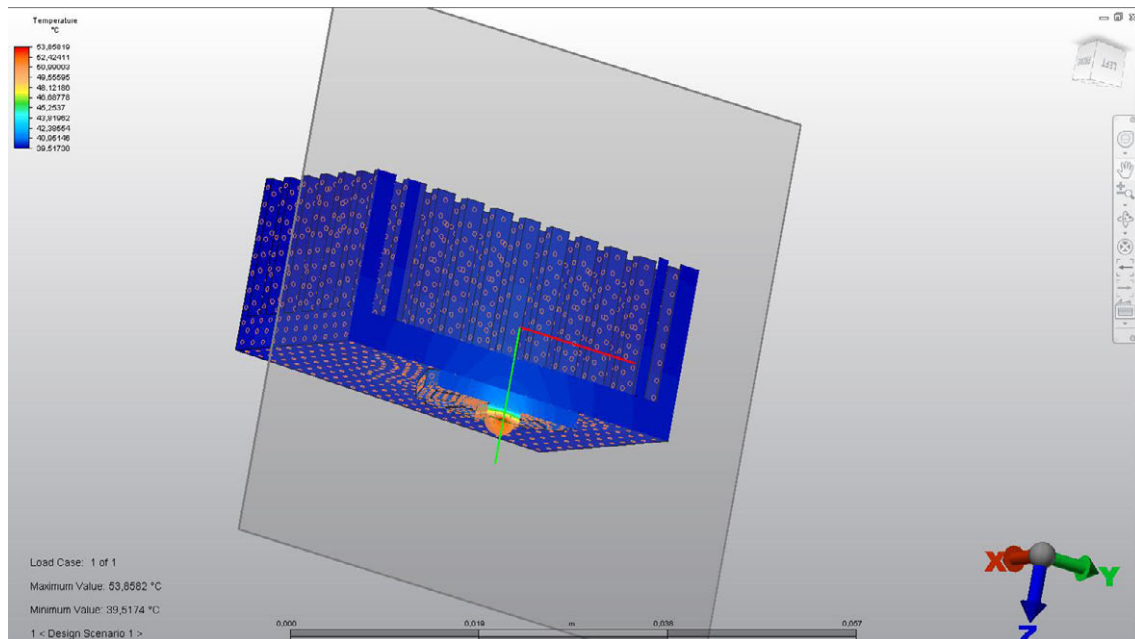


Figura 7.2.1.4.5 Ilustración de la variedad térmica en el diodo de 3W

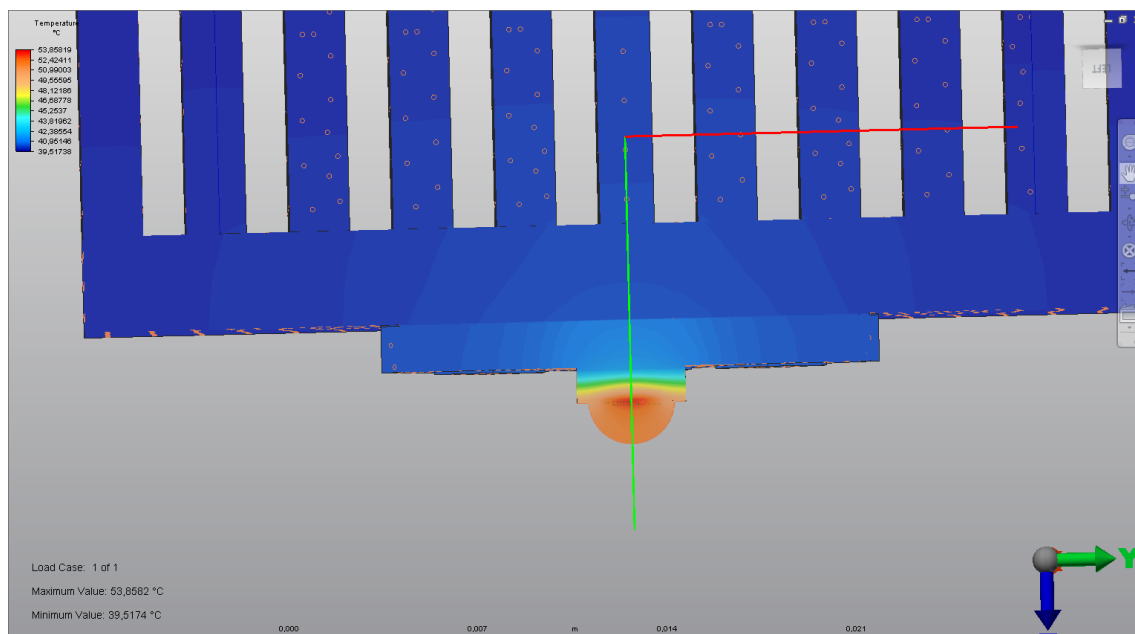


Figura 7.2.1.4.6 Ilustración de la variedad térmica en el diodo de 3W

7.2.2. Diodo de 3 W del tipo B

A continuación se van a realizar los cálculos necesarios para poder realizar las simulaciones térmicas.

7.2.2.1. Calculo coeficiente de convección térmico

El coeficiente de convección térmico se calcula mediante el programa Thermal Wizard, mediante el valor de la altura y anchura de cada una de las caras que influyen en la convección, se calcular el valor del coeficiente de convección térmico (h).

Para el cálculo del coeficiente de convección térmica de cada cara se han fijado los siguientes valores:

Description	Symbol	Value	Units
Film Temperature = $(T_p + T_a)/2$	T_f	40	$^{\circ}\text{C}$
Specific Heat	C_p	1007	J/kg- $^{\circ}\text{C}$
Coefficient of Thermal Expansion	β	0.0034	1/K
Thermal Conductivity	k	0.0261	W/m- $^{\circ}\text{C}$
Dynamic Viscosity	μ	0.0000185	m ² /s
Density at reference temperature of 20 C	ρ_{ref}	1.201	kg/m ³
Density calculated at film temperature T_f	ρ	1.12426	kg/m ³
Emissivity	e	.85	None

- Superficie aleta del disipador: Se debe elegir la opción de Vertical Plate.

Results for Plate

Description	Symbol	Value	Units
Prandtl Number = ν/α	Pr	0.713774	None
Grashof Number = $g\beta(T_p - T_a)H^3/\nu^2$	Gr	10.5918E+3	None
Rayleigh Number = $GrPr$	Ra	7.56018E+3	None
Nusselt = $0.68 + 0.67Ra^{0.25}/[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{4/9}$	Nu	5.47901	None
Average Heat Transfer Coefficient = $Nu*k/H$	h	7.94312	W/m ² - $^{\circ}\text{C}$
Convective Heat Transfer = $h*W*H*(T_p - T_a)$	q_{conv}	0.200167	W
Radiative Heat Transfer = $\sigma*W*H*e*(T_p^4 - T_a^4)$	q_{rad}	0.138103	W
Total Heat Transfer = $q_{conv} + q_{rad}$	q_{tot}	0.338269	W

- Superficie inferior del disipador y del LED: En este caso la opción elegida para el cálculo debe ser en Horizontal Plate.

Results for Plate

Description	Symbol	Value	Units
Prandtl Number = ν/α	Pr	0.713774	None
Grashof Number = $g \cdot \text{cte} \cdot (T_p - T_a) \cdot ((W \cdot L) / (2W + 2L))^3 / \nu^2$	Gr	141.345E+3	None
Rayleigh Number = $Gr \cdot Pr$	Ra	100.889E+3	None
Nusselt Number = $0.27(Gr \cdot Pr)^{0.25}$	Nu	4.81199	None
Average Heat Transfer Coefficient = $Nu \cdot k / ((W \cdot L) / (2W + 2L))$	h	3.76779	W/m ² -C
Convective Heat Transfer = $h \cdot W \cdot L \cdot (T_p - T_a)$	q _{conv}	2.25067	W
Radiative Heat Transfer = $\text{Sigma} \cdot W \cdot L \cdot e \cdot (T_p^4 - T_a^4)$	q _{rad}	3.3924	W
Total Heat Transfer = $q_{\text{conv}} + q_{\text{rad}}$	q _{tot}	5.65307	W

7.2.2.2. Elección de los materiales de las capas

A continuación se va a elegir los materiales de cada una de las capas del diodo de 3W:

Part ID	Part Name	Element type	Material Name
1	Silicona termico:1	Thermal Brick	Corning Vycorr 7950 Red Glass
2	Aluminio:1	Thermal Brick	Aluminum 6063-T6
3	chapas:1	Thermal Brick	Aluminum 6063-T6
4	Snpb:1	Thermal Brick	Tin, Sn
5	cobre:1	Thermal Brick	Silver, Ag
6	Alumina:1	Thermal Brick	CoorsTek Alumina, AD-85 (nom. 85% Al ₂ O ₃)
7	Chips:1	Thermal Brick	Silicon, Si
8	esfera:1	Thermal Brick	Anocast Silica-filled Epoxy Polymer Composite
9	Solid:1	Thermal Brick	Aluminum 6063-T6
10	metalizado:1	Thermal Brick	Silver, Ag

Las características térmicas que presentas estos materiales son:

Corning Vycorr 7950 Red Glass	
Material Model	Isotropic
Mass Density	$2000000000000 \text{ kg/m}^3$
Thermal Conductivity	$0 \left(\frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$
Specific Heat	$0 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$

Aluminum 6063-T6 -Thermal Brick	
Material Model	Isotropic
Mass Density	$2000000000000 \text{ kg/m}^3$
Thermal Conductivity	$0 \left(\frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$
Specific Heat	$900 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$

Tin, Sn	
Material Model	Isotropic
Mass Density	$5000000000000 \text{ kg/m}^3$
Thermal Conductivity	$0 \left(\frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$
Specific Heat	$213 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$

Silver, Ag	
Material Model	Isotropic
Mass Density	$1000000000000 \text{ kg/m}^3$
Thermal Conductivity	$0 \left(\frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$
Specific Heat	$234 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$

CoorsTek Alumina, AD-85 (nom. 85% Al ₂ O ₃) - Thermal Brick	
Material Model	Isotropic
Mass Density	$3000000000000 \text{ kg/m}^3$
Thermal Conductivity	$0 \left(\frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$
Specific Heat	$0 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$

Silicon, Si -Thermal Brick	
Material Model	Isotropic
Mass Density	$2000000000000 \text{ kg/m}^3$
Thermal Conductivity	$0 \text{ (J/(s * m * } ^\circ\text{C))}$
Specific Heat	$702 \text{ (J/(kg} ^\circ\text{C))}$

Anocast Silica-filled Epoxy Polymer Composite - Thermal Brick	
Material Model	Isotropic
Mass Density	$2000000000000 \text{ kg/m}^3$
Thermal Conductivity	$0 \text{ (J/(s * m * } ^\circ\text{C))}$
Specific Heat	$0 \text{ (J/(kg} ^\circ\text{C))}$

7.2.2.3. Calculo de la potencia por unidad de volumen.

Teniendo en cuenta el tamaño del chip, las medidas realizadas en el laboratorio y el rendimiento óptico obtenido del Datasheet, se ha realizado el cálculo de la potencia por unidad de volumen:

Valores iniciales						
Alto(mm)	Ancho(mm)	Largo (mm)	Volumen (mm ³)	(W)	(W)	P por unidad volumen
0,1	1,8	1,8	0,324	2,1249	1,4392	4441898079

7.2.2.4. Simulaciones del diodo de 3W tipo B con el disipador de aluminio con aletas

Una vez que se han establecido cada uno de los coeficientes mencionados anteriormente, se realiza la simulación. A continuación se muestran los resultados obtenidos:

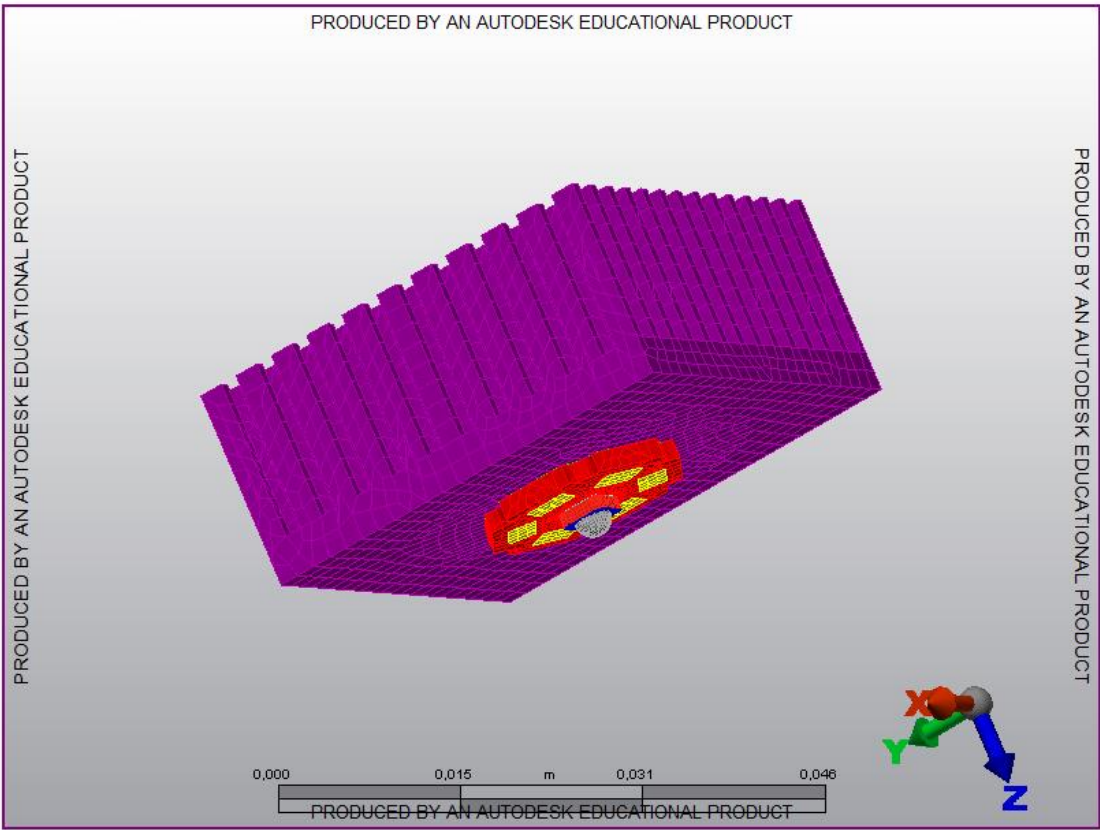
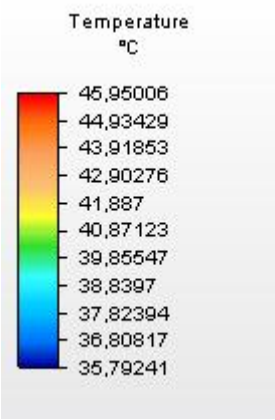


Figura 7.2.2.4.1 Diodo ultravioleta de 3W antes de realizar las simulaciones.

La variedad de temperatura que se ha obtenido en cada una de las simulaciones es:



Simulaciones térmicas del diodo ultravioleta de 3W con el disipador de aluminio con aletas

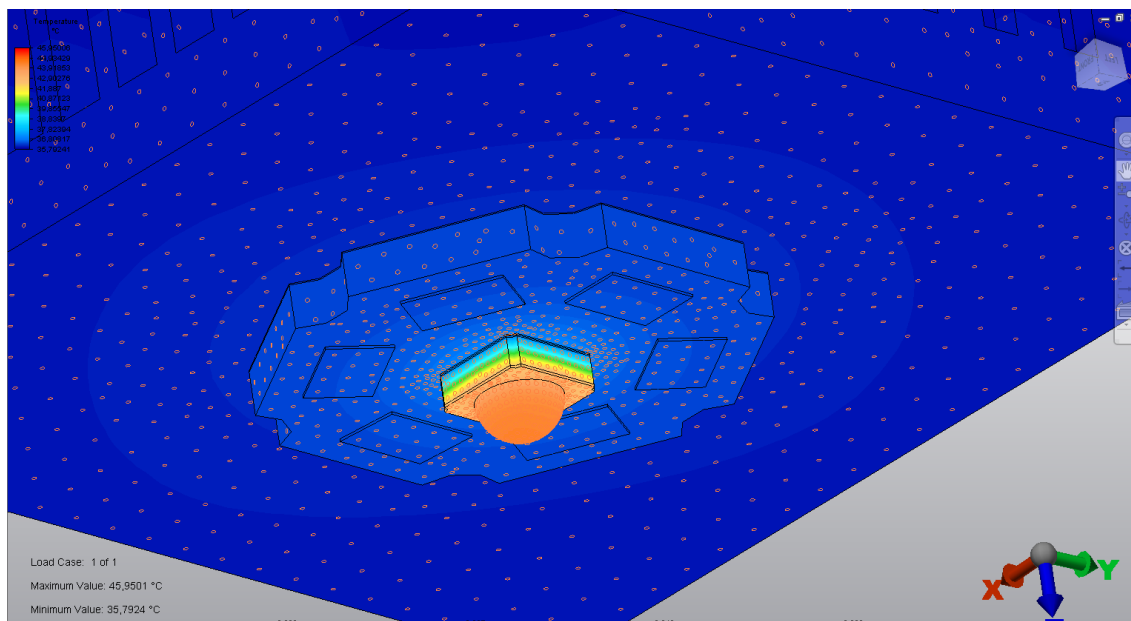


Figura 7.2.2.4.2 Vista de la parte superior del diodo de 3W

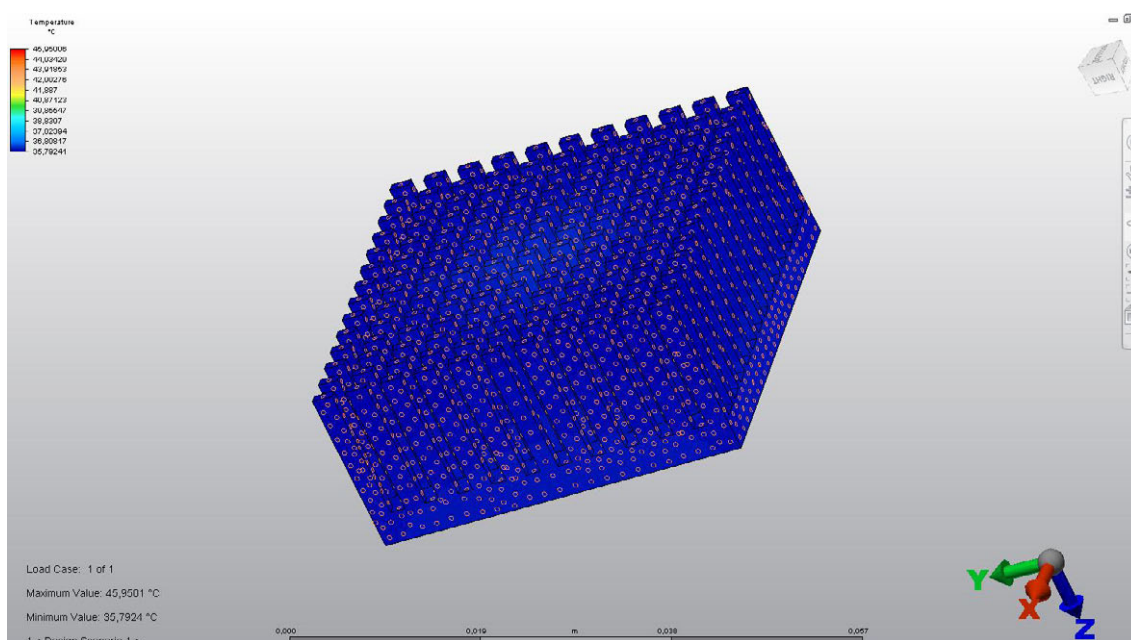


Figura 7.2.2.4.3 Vista de la parte inferior del diodo de 3W

Simulaciones térmicas del diodo ultravioleta de 3W con el disipador de aluminio con aletas

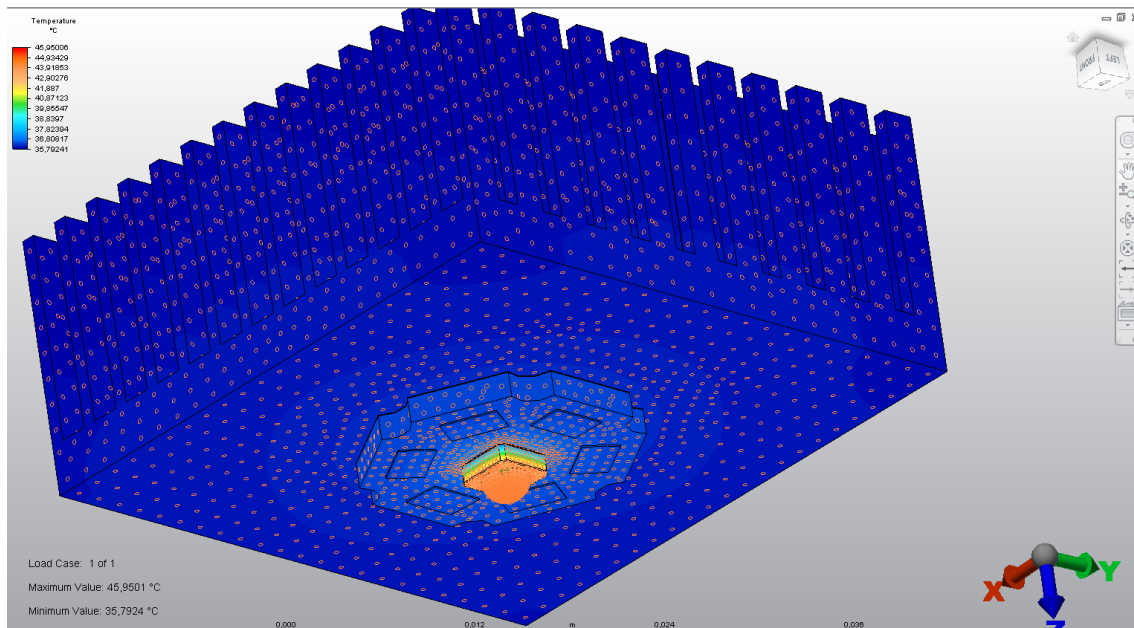


Figura 7.2.2.4.4 Vista isométrica del diodo de 3W

Utilizando un plano imaginario en los ejes XZ se puede visualizar la diferencia térmica en el interior del diodo.

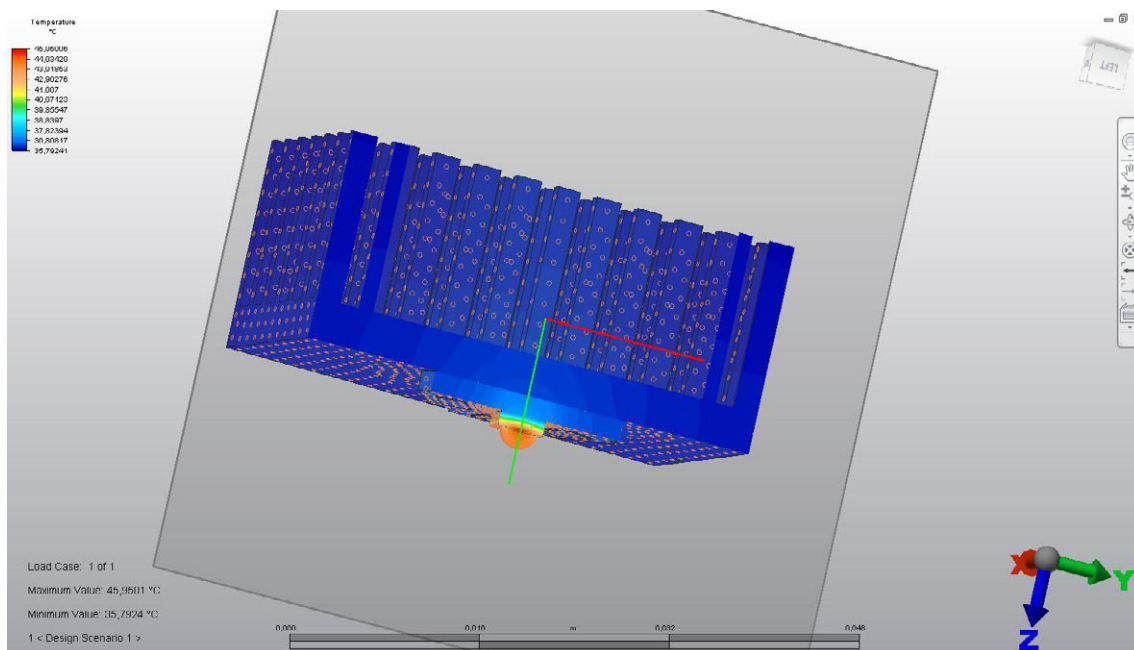


Figura 7.2.2.4.5 Ilustración de la variedad térmica en el diodo de 3W

Simulaciones térmicas del diodo ultravioleta de 3W con el disipador de aluminio con aletas

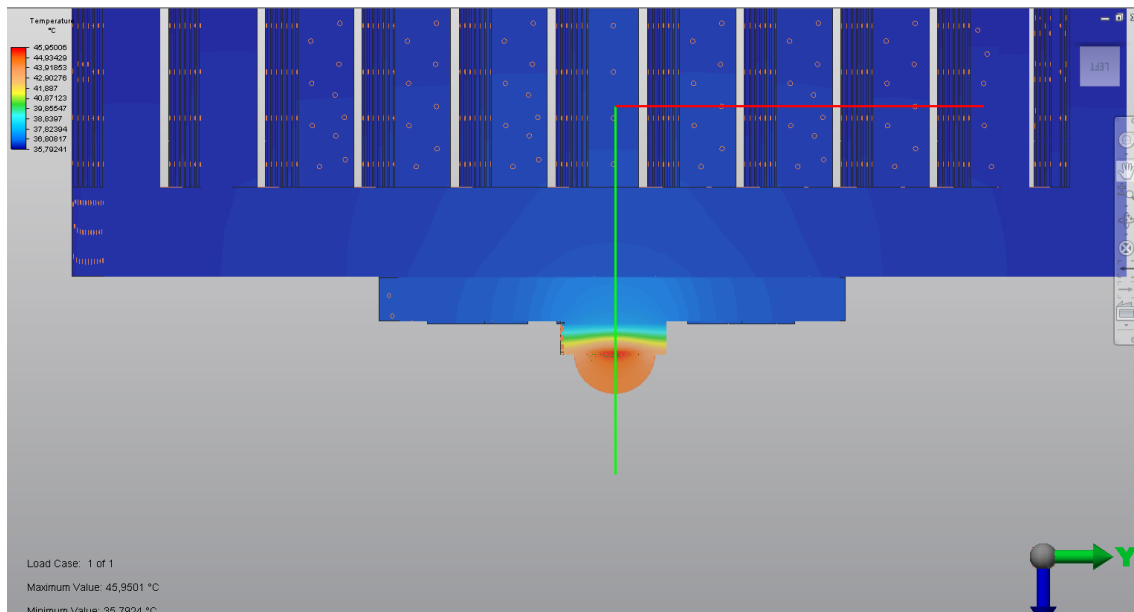


Figura 7.2.2.4.6 Ilustración de la variedad térmica en el diodo de 3W

7.3. Conclusiones y comparativa entre los resultados de las simulaciones térmicas y las medidas obtenidas físicamente

Los resultados obtenidos en las simulaciones en el caso del diodo A y del diodo B muestran que, el diodo de tipo B tiene una disipación mayor que el diodo de tipo A. Esto es debido a que la potencia eléctrica que presenta el diodo de tipo B es mucho mejor que la que la posee el diodo de tipo A. Por tanto, el diodo que se debería utilizar para obtener una mayor disipación térmica es el diodo de tipo B.

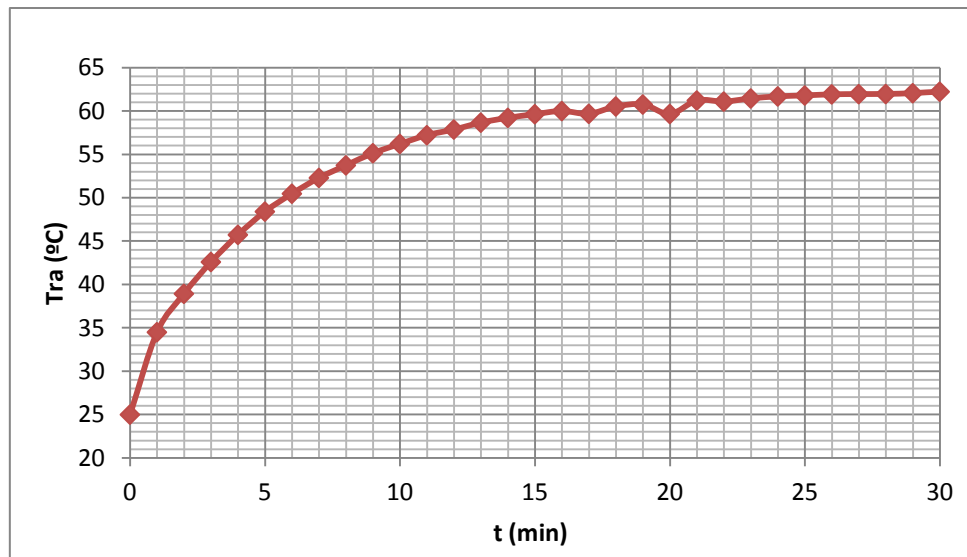
Una vez elegido el diodo se debe escoger el disipador térmico que mejor resultados tenga. En este caso, entre los dos disipadores elegidos, el que muestra una mayor disipación es el disipador de plancha de aluminio con aletas. Esto se debe a la superficie del mismo, ya que presenta numerosas aletas huecas entre ellas, que permiten la circulación del aire y por tanto la disipación mayor del diodo. Por tanto, el disipador que se debería elegir para obtener una mayor disipación es el disipador de aluminio con aletas.

Con todo esto, conseguimos que el tiempo de vida del diodo sea mayor con las elecciones realizadas, ya que, el hecho de que el diodo no se vea sometido a una temperatura mayor, ayuda a este a que el tiempo de vida sea mayor.

Además de ello, se ha realizado una comparativa entre las medidas realizadas en el laboratorio para cada uno de los casos y los obtenidos en las simulaciones térmicas:

- **Diodo ultravioleta de 3 W tipo A con el disipador de plancha de aluminio**

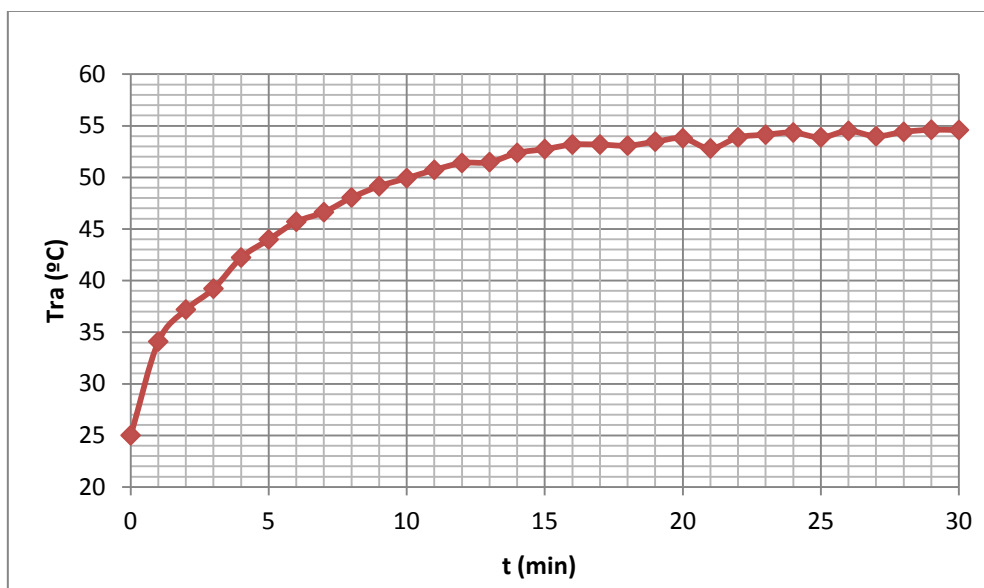
Según los valores obtenidos en los ensayos realizados en el laboratorio, el tiempo que tarda en que el diodo entre en zona estable es de aproximadamente 25 minutos. La temperatura máxima que alcanza el diodo de 3W tipo A con el disipador de plancha de aluminio es de 62,23 °C.



Por tanto, el margen de error en el caso del diodo de 3W tipo A con el disipador de plancha de aluminio teniendo en cuenta que en las simulaciones la temperatura máxima obtenida es de 63 °C, el margen de error es de 1,22 % aproximadamente.

- **Diodo ultravioleta de 3 W tipo B con el disipador de plancha de aluminio**

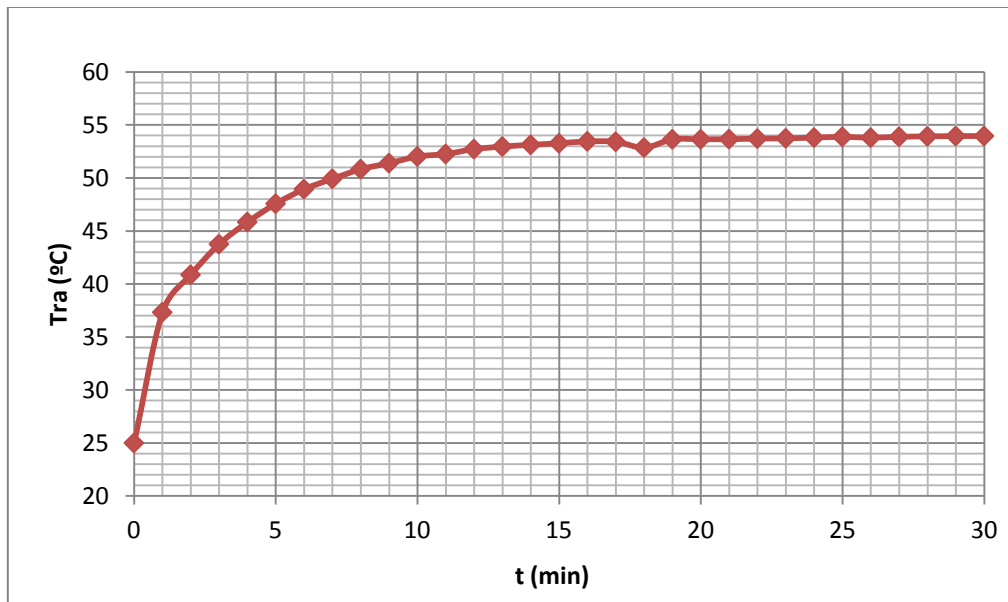
Según los valores obtenidos en los ensayos realizados en el laboratorio, el tiempo que tarda en que el diodo entre en zona estable es de aproximadamente 30 minutos. La temperatura máxima que alcanza el diodo de 3W tipo B con el disipador de plancha de aluminio es de 54,61 °C.



Por tanto, el margen de error en el caso del diodo de 3W tipo B con el disipador de plancha de aluminio teniendo en cuenta que en las simulaciones la temperatura máxima obtenida es de 56,65 °C, el margen de error es de 3,60% aproximadamente.

- **Diodo ultravioleta de 3 W tipo A con el disipador de aluminio con aletas**

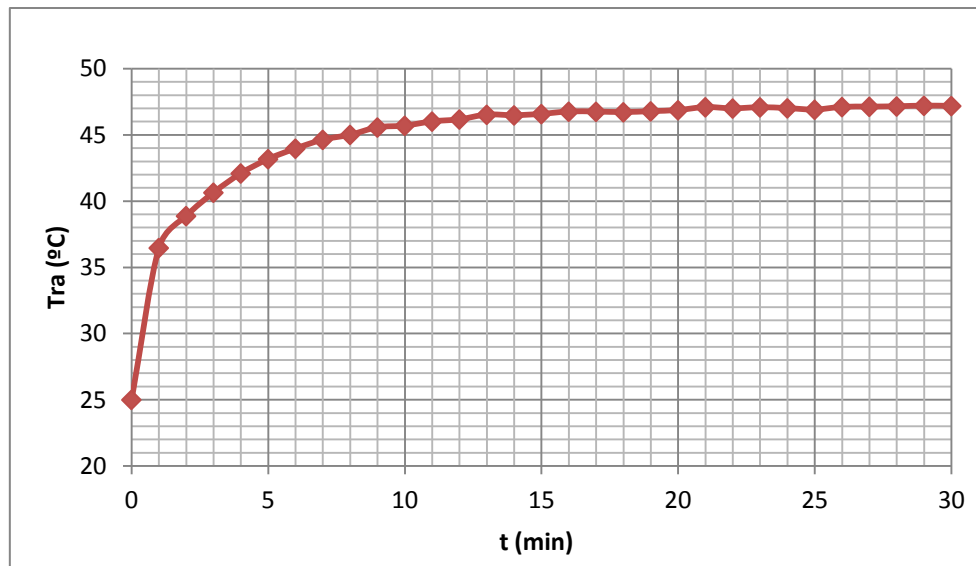
Según los valores obtenidos en los ensayos realizados en el laboratorio, el tiempo que tarda en que el diodo entre en zona estable es de aproximadamente 20 minutos. La temperatura máxima que alcanza el diodo de 3W tipo A con el disipador de aluminio con aletas es de 53,95 °C.



Por tanto, el margen de error en el caso del diodo de 3W tipo A con el disipador de plancha de aluminio con aletas teniendo en cuenta que en las simulaciones la temperatura máxima obtenida es de 53,85°C, el margen de error es de 0,15% aproximadamente.

- **Diodo ultravioleta de 3 W tipo B con el disipador de aluminio con aletas**

Según los valores obtenidos en los ensayos realizados en el laboratorio, el tiempo que tarda en que el diodo entre en zona estable es de aproximadamente 20 minutos. La temperatura máxima que alcanza el diodo de 3W tipo B con el disipador de aluminio con aletas es de 47,20 °C.



Por tanto, el margen de error en el caso del diodo de 3W tipo A con el disipador de plancha de aluminio con aletas teniendo en cuenta que en las simulaciones la temperatura máxima obtenida es de 45,9°C, el margen de error es de 2,75% aproximadamente.

Capítulo 8: Tarjeta PCB-EXPANSION 3722 KTHL

8. Desarrollo hardware de la tarjeta de expansión (PCB-EXPANSION 3722 KTHL)

El objetivo del desarrollo de esta tarjeta de circuito impreso es cubrir la necesidad de mejora de conexión de una tarjeta de alta densidad de adquisición de datos adquirida por el departamento.

Para el desarrollo de una tesis doctoral se compró el sistema de adquisición de medidas de Keithley 3706, dicho sistema tiene un multímetro de 7 ½ dígitos, y 6 ranuras para incluir tarjetas de conmutación. El objetivo del sistema es que las tarjetas de conmutación se conecten a un elevado número de muestras que se emplearían en ensayos de fiabilidad, y se vayan midiendo secuencialmente con el multímetro todas ellas.

La tarjeta de conmutación que se adquirió con este sistema fue la 3722 de Keithley, con 98 canales de medidas a dos hilos, que podrían configurarse como 48 canales de medida a 4 hilos, para obtener mayor precisión. Estos sistemas se emplean habitualmente en las cadenas de producción de sistemas electrónicos para comprobar su funcionalidad, lo que implica que la configuración de cableado que se realice suele durar toda la vida del equipo.

En nuestro caso las configuraciones de conexión a las muestras debían ser más flexibles, ya que para cada ensayo de fiabilidad el sistema de adquisición de datos debe ser específico. Pero la tarjeta 7722 tiene como salidas dos conectores de alta densidad de 104 pines, a los que el acceso era muy complejo por lo que se realizó un cable desde estos conectores de alta densidad a 4 conectores SCSI de 50 pines, en total llevaban 200 señales, con esta configuración se diseñó el primer ensayo, pero esto nos obligaba a realizar una PCB específica de conexión para cualquier nuevo ensayo, y de hecho en los siguientes ensayos dicha dificultad hizo que se compraran tarjetas de menor dificultad 40 canales, pero que contaban con una tarjeta de expansión comercial (800€), en la que se podían cablear individualmente cada uno de los canales.

Lamentablemente Keithley no disponía de una tarjeta equivalente para su tarjeta de máxima densidad de conmutación, la 7722 de 98 canales, y el objetivo de esta parte del PFC es resolver dicha carencia, realizando una tarjeta de expansión que permita el conexiones individual de cada muestra que se ensaye.

8.1. Situación original de la tarjeta 3722. Objetivo

Como se ha indicado el sistema de adquisición 3706 junto con la tarjeta de adquisición 3722 de 98 canales se empleó en el Trabajo Fin de Master y Tesis Doctoral del tutor de este PFC.

En la siguiente foto se observa la tarjeta 3722, con su parte trasera donde aparecen los conectores de alta densidad.

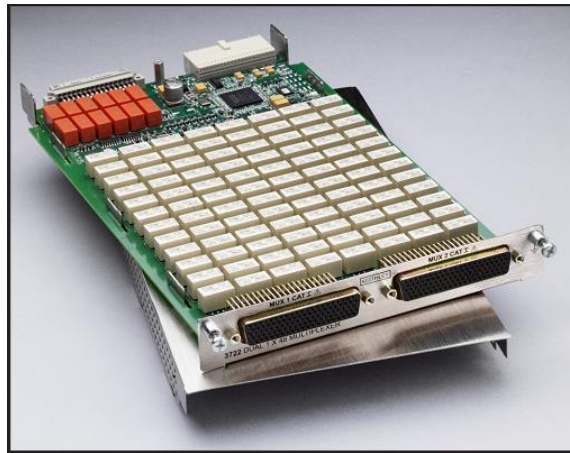
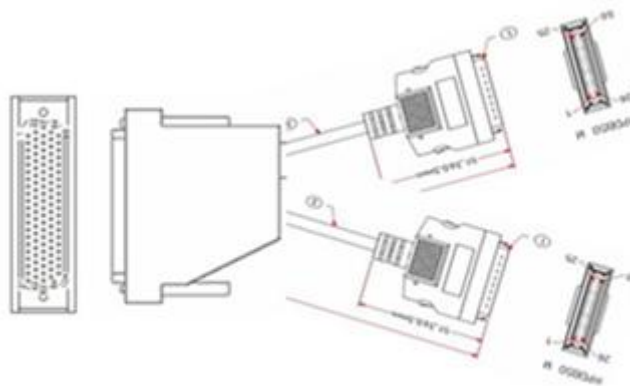


Figura8.1.1 Model 3722 Dual 1x48, High Density, Multiplexer Card

La intención del TFM y la Tesis era emplear la tarjeta para ensayos acelerados de fiabilidad, y se debían cablear las 98 salidas o parte de ellas hacia las muestras a probar, pasando previamente por una tarjeta específica de relés que era necesaria. Sin embargo no existía una configuración de conector de alta densidad para PCB que se pudiese conectar por medios convencionales, por lo tanto hubo que sacar del conector dos cables hacia conectores SCSI de 50 terminales como se observa en la figura. Al lado la foto del sistema con el cable y la tarjeta de diseño específico para este ensayo.



El objetivo es sustituir la tarjeta inferior de la foto por unas tarjetas de conexionado que permitan conectar con cableado individual los dispositivos electrónicos a ensayar con la tarjeta de relés de alta densidad.

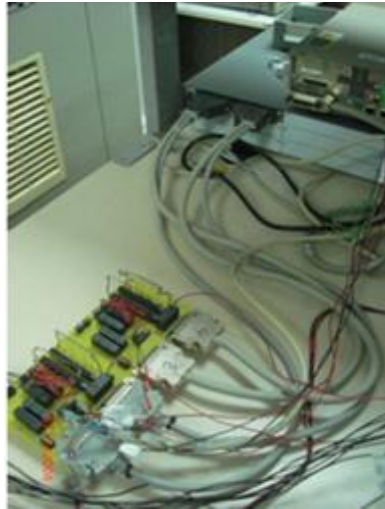


Figura 8.1.2 Conexion placa

8.2. Desarrollo de las tarjetas de expansión

Se ha realizado el diseño de la tarjeta en el software PROTEL 98, ya que era con el que se tenía experiencia.

Para resolver el diseño se ha decidido realizar dos tarjetas con el mismo diseño, una para los primeros 48 canales dobles (98 cables, más 4 hilos adicionales para un sistema de medida adicional) y otra para los otros 48 canales dobles.

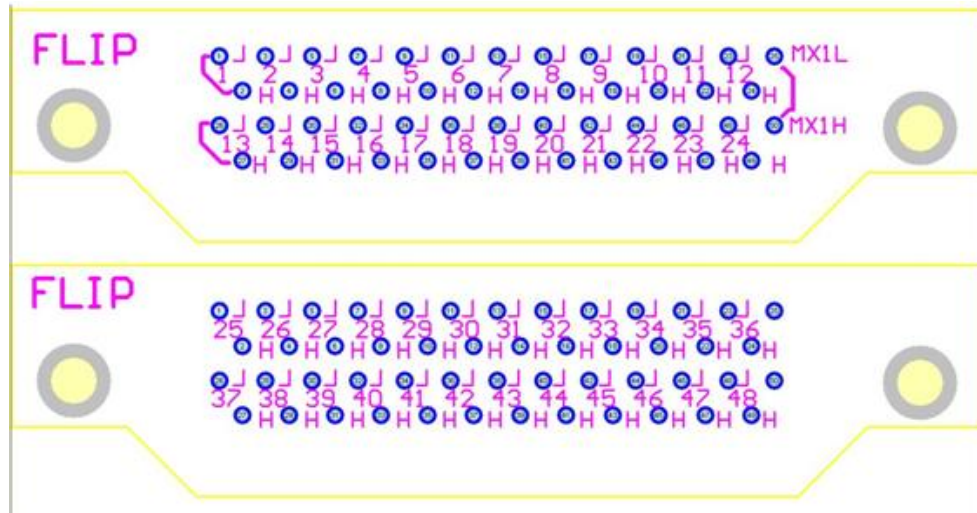
En la siguiente figura se refleja la configuración de los conectores SCSI que llevan los primeros 48 canales dobles de la tarjeta de adquisición 3722, visto desde la parte inferior de la PCB.

El diseño se ha realizado en una cara evitando cruces entre pistas de señales que pudiesen generar ruido, y con el ancho de pista máximo que permitía el diseño con pistas de 16 mils (300 micras) para trabajar con la menor resistividad posible de pistas.

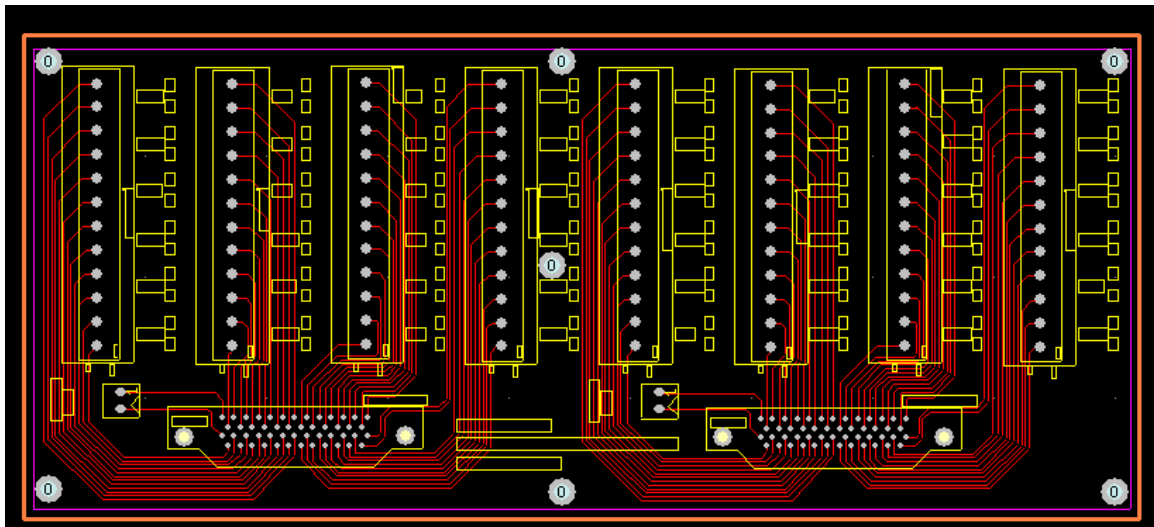
Sin embargo, la fabricación será a doble cara con agujero metalizado, ya que el gran número de soldaduras de terminales de inserción, solo puede ser fiable con esta tecnología.

Cada una de las tarjetas tiene un tamaño de 23 cm x 10 cm. Los conectores de entrada son 2 SCSI de 50 pines y alta densidad, para los conectores que soportarán el cableado se ha optado por 8 conectores de 12 pines con presión del cable por tornillo. Cada uno de estos conectores es de dos partes, la parte que está soldado sobre la tarjeta

es la hembra de 12 terminales, es decir 6 canales, y la segunda parte del cuerpo es un macho que lleva una conexión para cables mediante tornillo. El conector debe ser de una buena calidad para evitar los falsos contactos, y que el conector no se deteriore en exceso con el uso.



En la siguiente figura se presenta el diseño completo de la PCB.



En las siguientes figuras se presentan algunas de las capas de la PCB, la capa top de conductor y la capa top-silk con el texto que llevará cada tarjeta, para ahorrar en gastos se han puesto los primeros 48 canales, para identificar los canales reales de la segunda tarjeta de expansión, habrá que sumar 48 a cada una de los canales que está serigrafiado.

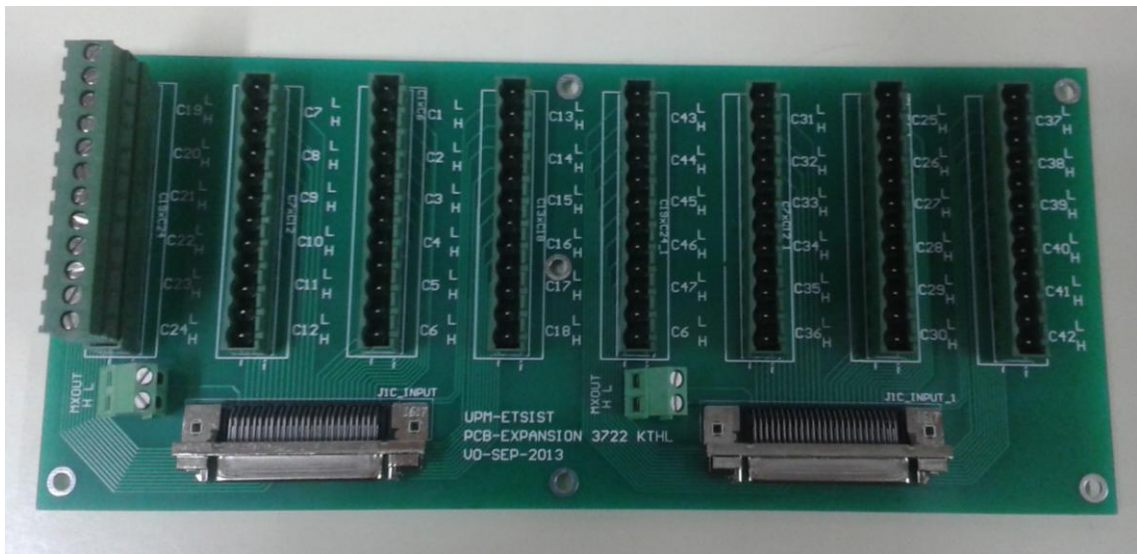


Figura 8.3.2 Imagen de la placa una vez ya montados los conectores

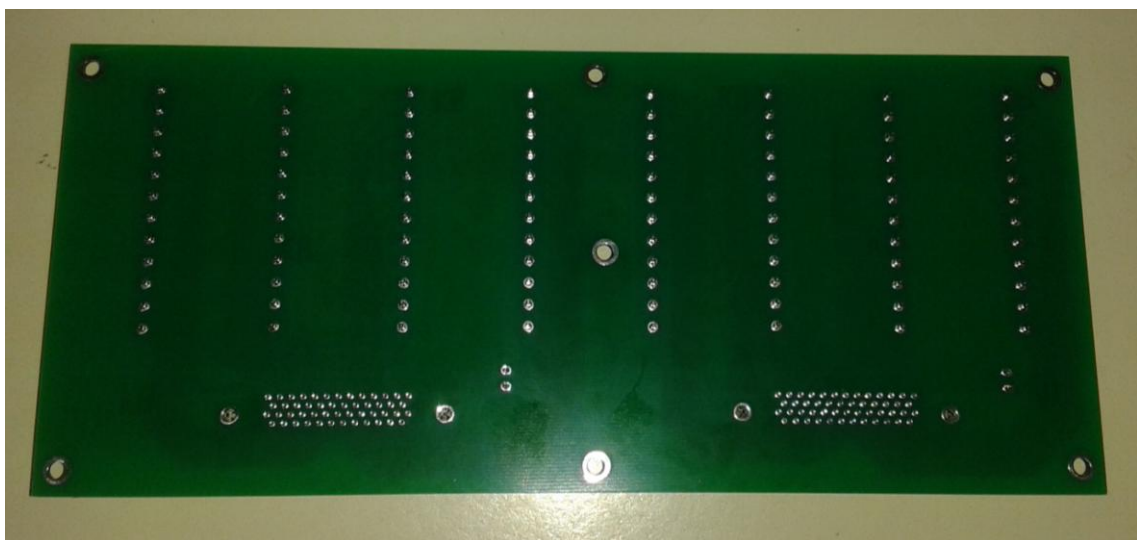


Figura 8.3.3 Imagen inferior de la placa

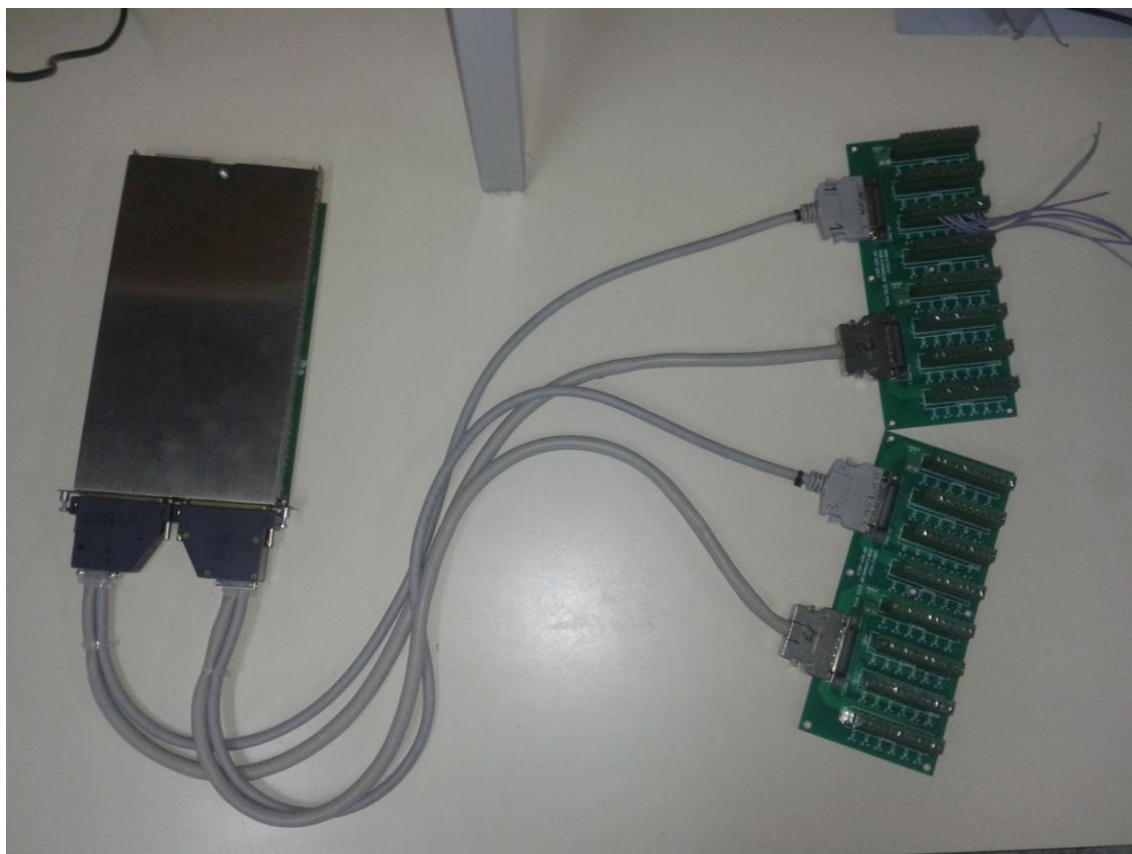


Figura 8.3.4 Conexión placas

Capítulo 9. Presupuesto

9. Presupuesto

En este apartado se evalúa detenidamente los costes económicos necesarios para el desarrollo de este PFC. Debido a que este PFC tiene diferenciadas dos partes, se va a evaluar los costes de cada una de ellas. Los costes se dividen en costes producidos por la actividad software, a la actividad hardware y a la mano de obra.

9.1. Coste software

Como se ha explicado a lo largo de este proyecto, el programa software elegido para poder realizar el diseño y, posteriormente, las simulaciones de los diferentes diodos es el programa “Autodesk 2013 Inventor Fusion” y el “Autodesk 2013 Simulation and Multiphysics” ambos son programas de la compañía Autodesk | Software de diseño, ingeniería y entretenimiento 3D.

Puesto que la UPM tiene licencia gratuita de desarrollo para aplicaciones docentes, ambos programas necesarios son gratuitos durante un periodo de 3 años para los estudiantes de esta universidad por lo que el coste del software es nulo.

En un principio la idea era utilizar las instalaciones y equipos que ofrece la universidad para poder llevar a cabo el proyecto, pero posteriormente, por motivos laborales esto fue imposible y por ello, la realización de la parte software del PFC se realizó en casa. Para ello, se ha utilizado mi portátil personal, por lo que el coste del material es de 0€.

Elemento	Precio	Coste total
Autodesk 2013 Inventor Fusion	0€	0€
Autodesk 2013 Simulation and Multiphysics	0€	0€
COSTE TOTAL		0€

9.1. Coste hardware

En el caso de la tecnología hardware el coste es mayor ya que se han utilizado más elementos.

En el caso del diseño de la placa se ha utilizado el programa Protel 2011 el cual es gratis ya que la UPM dispone de licencias para este

programa. Los costes aparecen en la compra de los conectores, machos y hembras, se ha mandado el prototipo de la placa a china para que se fabrique. El tiempo que han tardado en la fabricación de la misma es de 1 mes aproximadamente.

Elemento		Precio unitario	Unidades	Coste total
Protel 2011		0€	1	0€
Conectores	PLUG 5MM R/A 16A 12WAY (MACHO no REVERSE)	4,29€	16	68,64€
	HEADER 5MM VERTICAL 16A 12WAY	2,13€	16	34,08€
Cables	3M - 89110- 0101HA - HEMBRA, IDC, BUMP Y CLIP, 10 VÍAS	1,65€	12	19,8€
	AMPHENOL SPECTRA- STRIP - 191- 2801-110 - CABLE DE LAZO, 10 VÍAS, 30,5M, 28AWG	19,58€	1	19,58€
Fabricación de la placa		60€	2	120€
COSTE TOTAL				262,1€

9.2. Coste de la mano de obra para la realización del proyecto

Teniendo en cuenta cuánto tiempo se ha tardado en realizar este proyecto y la cantidad de horas dedicadas en él, se ha realizado una estimación del coste de la mano de obra necesaria para desarrollar este PFC.

El proyecto se comenzó en Octubre de 2012. Desde esa fecha hasta hoy se han dedicado 36 semanas. La media de horas utilizadas al día es de 2h, por lo tanto, el número de horas totales es de 504 horas, aproximadamente.

Considerando que un Ingeniero Técnico de telecomunicaciones junior cobra 15 €/hora el coste de la mano de obra será:

9.3. Coste total del proyecto

En la siguiente tabla, se indica los costes finales destinados a materiales y mano de obra y, también el coste total del proyecto.

El coste total del proyecto es **7822,1€**

	Coste total
Coste Software	0€
Coste Hardware	262,1€
Coste de la mano de obra	7560€
TOTAL	7822,1 €

Capítulo 10. Conclusiones y trabajos futuros

10. Conclusiones

10.1. Conclusiones finales

El proyecto se divide en dos partes diferenciadas. La primera parte desarrolla la utilización de la herramienta de simulación térmica y simulaciones de HB-LEDs, que en el caso de los LEDs blancos son de muy alta potencia, en el LED ultravioleta de potencia media. Por otra parte el desarrollo hardware de una tarjeta de expansión de cableado, para adquisición de datos en sistemas de instrumentación de ensayos.

Dentro de la parte de análisis térmico hay que destacar varios resultados relevantes:

- Se ha desarrollado un capítulo teórico de introducción de análisis térmico para que el PFC tenga sea un trabajo cerrado, con su base teórica, su parte experimental y sus conclusiones.
- Se ha instalado, configurado y puesto en marcha la herramienta Autodesk, tanto para diseño mecánico como de simulación térmico. Se eligió esta herramienta porque la UPM tiene licencia gratuita, y sin embargo otras herramientas de simulación térmica son muy caras, con precios del orden de miles de euros, y precio anual de mantenimiento de varios cientos. Además a pesar de no tener experiencia en la herramienta, Autodesk es la heredera de Autocad y dicha herramienta tiene una fuerte implantación y es de gran calidad.
- Se ha desarrollado un manual de la herramienta en español, tanto a nivel de mecánica (Autodesk 2013 Inventor Fusion) como de análisis térmico (Autodesk 2013 Simulation and Multiphysics). Dicho manual se ha completado con la experiencia de desarrollo completo, desde la mecánica, cálculos térmicos, y análisis térmico de alguno de los LEDs que finalmente se simularán.
- Se ha comprobado que los disipadores con aletas son adecuados para estos LEDs de 3W, y sin embargo que los disipadores de chapa plana de aluminio son insuficientes. Una vez puesta a punto la herramienta, podríamos ver si sería interesante emplear un disipador más grande, o poner un ventilador al disipador actual para reducir la temperatura del LED.

La segunda parte de este proyecto, diseño de una tarjeta de circuito impreso se ha desarrollado en el capítulo 8.

- El objetivo del diseño de esta tarjeta de circuito impreso es cubrir la necesidad de mejora de conexión de una tarjeta de alta densidad de adquisición de datos adquirida por el departamento.

Los objetivos del PFC fueron impuestos por el tutor, como parte del desarrollo de herramientas (software y hardware) que serán utilizados posteriormente a nivel de docencia e investigación.

A nivel de docencia se podrán emplear en el laboratorio de la asignatura Ingeniería de Producción, y Tecnología de Producción de Sistemas Electrónicos, enseñando y realizando nuevas simulaciones térmicas de dispositivos electrónicos, además los resultados de este trabajo darán ideas y complementarán el desarrollo de otros PFC, como el que se está realizando para caracterizar eléctrica y térmicamente LEDs blancos de alta potencia con el que se desarrollarán luminarias.

A nivel de investigación cabe destacar la futura TESIS de detección de hidrocarburos en agua de río, que desarrollará F.J. Arqués y donde las simulaciones térmicas de LEDs ultravioleta de 3W contribuirán a elegir el LED y el disipador adecuados, así como probar mediante simulación otras alternativas de LEDs o disipadores que pudiesen ser más adecuados de los actualmente probados. Una vez de ha contrastado el procedimiento de configuración de la herramienta de simulación con las medidas en laboratorio, nos permitirá diseñar nuevos prototipos sin la necesidad de montarlos y probarlos en laboratorio, este es el principal resultado del PFC, ya que permite aplicarlo a los ensayos en el grupo de investigación de la UPM Semiconductores III-V, al que pertenece el tutor del PFC, donde la disponibilidad de muestras de células solares multiunión desarrolladas en GaAs (muy similares a estos LEDs de alta potencia) es muy escasa.

A nivel hardware ha desarrollado unas tarjetas que mejoran la versatilidad de un equipo de adquisición de datos, y que no están disponibles comercialmente.

En definitiva la aportación del Proyecto Fin de Carrera es práctica en varias líneas de trabajo, es innovadora y relevante.

10.2. Trabajos futuros

Se puede plantear como trabajos futuros:

El estudio de la integración de diodos LEDs blancos de alta potencia como los simulados aquí, en luminaras de exterior, simulando su diseño y configuración antes de realizar prototipos.

El desarrollo de focos de LEDs de alta potencia para distintas aplicaciones de sensado (LEDs ultravioleta) o iluminación (LEDs blancos).

En general para el diseño y desarrollo de circuitos de alta potencia, donde la temperatura sea crítica para el funcionamiento o duración del sistema electrónico.

